Оглавление

Предисловие редактора 8
Плохо ли быть материалистом? 8
Должна ли физика бояться метафизики? 10
Метафизика в «Метафизике» Ю. С. Владимирова 12

Предисловие 16

Введение 20

Глава 1. Метафизика с древнейших времен до XVIII века 27
1.1. «Книга перемен» 27
1.2. Школы Пифагора и Платона 31
1.3. Учения материалистов: от Фалеса до Демокрита 36
1.4. Метафизика Аристотеля 39
1.4.1. Метафизика в учении Аристотеля 39
1.4.2. Характерные черты физики Аристотеля 41
1.4.3. Изъяны «здравого смысла» в учении Аристотеля 43
1.5. Преодоление «здравого смысла» античности 43
1.6. Природа как протяженная субстанция (по Декарту) 48
1.7. Метафизика Лейбница 50
1.8. Натурфилософия Гюйгенса 53
1.9. Математические начала натуральной «философии» 55
1.10. Метафизика XVIII века 58
1.11. Природа и категории в натурфилософии И. Канта 61
1.12. Уроки метафизики и натурфилософии прошлого 63
1.12.1. Метафизика философско-религиозных учений 63
1.12.2. Метафизика идеального начала 64
1.12.3. Метафизика материального начала 64
1.12.4. Вопросы согласования метафизических парадигм в отдельных началах 65

Часть I. Триалистическое и физическое миропонимания 67

Глава 2. Пространство-время 69
2.1. «Мистика мирового эфира» 69
2.2. От пространства и времени к пространству-времени 73
2.3. Пространство-время Минковского 76
2.4. Системы отсчета (1 + 3-расщепление) 80

2.5. Хроногеометрия 83
2.6. Природа пространства-времени 86
2.7. Аксиоматика геометрии 88
2.8. Принцип фрактальности и метафизика категории пространства-времени 93
2.9. Геометрии с измененной аксиоматикой 95

Глава 3. Поля переносчиков взаимодействий 99
3.1. Концепция близкодействия 100
3.2. Электромагнитное поле 103
3.3. Гипотеза единой нелинейной бозонной теории поля 107
3.4. Метафизика категории полей переносчиков взаимодействий ... 110
3.5. Гравитационное поле 114
3.6. Фундаментальные физические взаимодействия 117
3.7. Симметрии и калибровочный подход к описанию взаимодействий 120
3.8. Бозонные поля в модели электрослабых взаимодействий 124
3.9. Глюонные поля в хромодинамике 127
3.10. Метафизика бозонных полей в физическом миропонимании ... 129

Глава 4. Категория частиц 133
4.1. Концепция атомизма 134
4.2. Метафизика категории частиц 137
4.2.1. Редукционизм по количеству 137
4.2.2. Редукционизм по качеству 140
4.2.3. Редукционизм по сущности 140
4.3. Дуалистическая парадигма и полевое описание частиц 141
4.4. Уравнения Дирака 145
4.5. Математика двоичности. Спиноры 148
4.6. Гипотеза единой нелинейной спинорной теории поля 153
4.7. Гипотеза объединения полей на основе суперсимметрии 155
4.8. Лептоны 158
4.9. Электрослабые взаимодействия кварков 161
4.10. Сильные взаимодействия кварков. 163

Глава 5. Квантовая теория и физическое видение первоосновы мира ... 166
5.1. Становление квантовой механики 167
5.2. Интерпретации квантовой механики 170
5.3. Метафизика квантовой теории 175
5.4. Аксиоматика квантовой механики. Гильбертово пространство . 180
5.5. Представления и динамические переменные 184
5.6. Макроприбор и принцип суперпозиции 188
5.7. S-матрица и классическое пространство-время 191
5.8. Вторичное квантование и виды движения у Аристотеля 195
5.9. Развитие дуалистической парадигмы 200
5.10. Черты квантовой теории в монистической парадигме 203

Часть II. Геометрическое миропонимание 207

Глава 6. От Евклида до Эйнштейна 209
6.1. Пятый постулат Евклида 210
6.2. Неевклидова геометрия Лобачевского 213
6.3. Неевклидова геометрия Римана 217
6.4. Идея Клиффорда о всеобщей геометризации физики 220
6.5. Эрнст Мах и геометрия 222
6.6. Конвенционализм А. Пуанкаре 227
6.7. Принцип эквивалентности и геометрия 229

Глава 7. Идеи и выводы общей теории относительности 233
7.1. Сущность общей теории относительности 234
7.2. Ключевые понятия общей теории относительности 236
7.3. Системы отсчета в теории гравитации 241
7.4. Пространство-время вблизи центрального источника 244
7.5. Вселенная в целом. Космология 248
7.6. Гравитационные волны 253
7.7. Обобщения римановой геометрии 257
7.8. Выводы из исследований общей теории относительности 260

Глава 8. Многомерность физического мира 264
8.1. Становление идеи о многомерности пространства 265
8.2. Суть 5-мерной теории Калуцы и ее «чудеса» 268
8.3. Необычность дополнительных координат, или Почему классическое пространство-время четырехмерно? 271
8.4. Обобщенная «система отсчета» (метод $1+4$-расщепления) 274
8.5. Развитие 5-мерной теории 277
8.6. Анализ критических замечаний по теории Калуцы 282
8.7. Возрождение концепции многомерия 287
8.8. 7-Мерная геометрическая модель грави-электрослабых взаимодействий 290
8.9. 8-Мерная модель грави-сильных и электрослабых взаимодействий 295
8.10. Основные выводы из исследований многомерия 299

Глава 9. Единая геометрия мира: проблемы и гипотезы 304
9.1. Экстремальная геометрическая парадигма 305
9.2. Геометродинамика Уилера 308
9.3. Фридмоны Маркова 310
9.4. Имитация массивной материи геометрическими факторами 313
9.5. Теория супергравитации 316
9.6. Метафизика проблемы квантования гравитации 319
9.6.1. Сущность проблемы квантования гравитации 319
9.6.2. Проблема квантования гравитации в различных парадигмах 320

9.6.3. Состояние исследований проблемы квантования гравитации ... 322
9.7. Планковская длина ... 322
9.8. Частицы в искривленном пространстве-времени ... 324
9.9. Гипотеза существования гравитонов ... 328
9.10. Идея Сахарова об индуцированной природе гравитации ... 332
9.11. Проблема квантования и многомерие ... 335
9.12. Выводы и перспективы ... 338

Часть III. Реляционное и монистическое миропонимания ... 341

Глава 10. Концепция дальнодействия ... 343
10.1. Зарождение и причины угасания концепции дальнодействия ... 344
10.2. Альтернатива: близкодействие или дальнодействие ... 348
10.3. Принцип Фоккера в электродинамике ... 351
10.4. Фейнмановская теория поглотителя ... 354
10.5. Принцип Маха и концепция дальнодействия ... 358
10.6. Прямое межчастичное гравитационное взаимодействие ... 361
10.7. Фейнмановская формулировка квантовой механики ... 364
10.8. Обоснование принципа Гюйгенса в отсутствие полей ... 369
10.9. Замечания и выводы по теории прямого взаимодействия ... 371

Глава 11. Реляционная концепция пространства-времени и теория физических структур ... 375
11.1. Реляционная концепция пространства и времени ... 376
11.2. Унарные физические структуры как геометрии ... 379
11.3. Системы отсчета и координатные системы в пространстве-времени Минковского ... 383
11.4. Второй закон Ньютона ... 387
11.5. Бинарные системы отношений ... 392
11.6. Программа структуризации физики ... 395
11.7. Теория физических структур и метафизика ... 397

Глава 12. Бинарная геометрофизика ... 402
12.1. Характер бинарной геометрофизики ... 403
12.2. Метафизика бинарной геометрофизики ... 407
12.3. Исходные понятия математического аппарата бинарной геометрофизики ... 411
12.4. Истоки 4-мерности и сигнатуры классического пространства-времени ... 416
12.5. Элементарные частицы ... 420
12.6. Прообраз уравнения Дирака ... 422
12.7. Бинарный объем как прообраз физического действия ... 425
12.8. Истоки категории полей промежуточных бозонов ... 428
12.9. Некоторые выводы и замечания ... 432
12.9.1. Категория пространства-времени ... 432

12.9.2. Категория частиц 433
12.9.3. Взаимодействия и категория полей переносчиков взаимодействий 433

Глава 13. От триединства мира к категориям физики 435
13.1. Макроскопическая природа пространства-времени 436
13.2. Архитектоника бинарной геометрофизики 439
13.3. Факторы суммирования: фазы как элементы БСКО ранга (2.2) 442
13.4. Прообраз метрики пространства-времени 445
13.5. Макроприбор и происхождение понятия расстояния 448
13.6. Эволюция и БСКО ранга (2,2) 451
13.7. Происхождение закона пространства-времени Минковского ... 456
13.8. Новая интерпретация квантовой механики 458
13.9. Выводы 461

Глава 14. Физика, философия, религия 464
14.1. Философия и фундаментальная теоретическая физика 464
14.2. Три начала и классификация философско-религиозных учений 467
14.3. Фрактальность: соответствие физических категорий и философско-религиозных начал 471
14.4. Религиозное и физическое миропонимания 473
14.5. Идеалистическое и геометрическое миропонимания 477
14.6. Материалистическое и реляционное миропонимания 481
14.7. Фрактальность идеального начала и архитектура математики . 485
14.8. Аристотелево триединство, христианская Троица и бинарная геометрофизика 488
14.8.1. Первоначало 488
14.8.2. Триединство 490
14.8.3. Принцип тождества монистических парадигм 492
14.9. Творение мира, филиокве и стрела времени 495
14.10Наука и религия 498

Заключение 503

Приложение. Заряды кварков и лептонов в бинарной геометрофизике . 509
П.1. Симметрии зарядов кварков в сильных взаимодействиях 510
П.2. Симметрии зарядов кварков в электрослабых взаимодействиях 511
П.3. Алгебраические симметрии зарядов лептонов 514
П.4. Сравнение лептонных и кварковых зарядов 517
П.5. Угол Вайнберга и «золотое сечение» 519

Литература 523

Именной указатель 530

Предисловие редактора

Плохо ли быть материалистом?

Слово «метафизика» к тому же вынесенное в название книги, написанной известным физиком, может произвести шокирующее впечатление. Что и говорить, если в наше время и у философов отношение к метафизике, мягко говоря, неоднозначное. Так, в «Вопросах философии», № 5 за 2000 год (статья В. Кутырева «Оправдание бытия»), можно прочитать: «В настоящее время прослыть приверженцем метафизики — значит рисковать репутацией, а приверженцем материализма... — значит ее погубить». Цель философа Кутырева — отстоять понятие бытия, как ядро и главную суть метафизики, которая сейчас подвергается ожесточенным нападкам от апологетов дурно понимаемых «виртуалистики» и синергетики. Модой становится «нигитология» — тенденция «от бытия к ничто», «отказ от онтологии и метафизики, а в сущности от философии в пользу теории самоорганизации и мыследеятельности».

Профессору Ю. С. Владимирову, руководителю двух научных семинаров кафедры теоретической физики в МГУ им. М. В. Ломоносова, нет необходимости опасаться за свою научную репутацию. Как физик, он разглядел определяющее значение, которое метафизика имеет именно для формулирования физической теории. Как философ (а проф. Ю. С. Владимиров — не просто физик, а *философствующий физик*, что само по себе явление не частое), он не отрекся и от материализма. И это несмотря на то, что слово «материализм» в устах большинства современных философов превратилось из прежде самого уважаемого слова в самое бранное, а «идеализм», прежде бывший у нас словом бранным, сейчас коньюнктурно возносится на щит. Те, кто борются за «репутацию», сейчас вообще предпочитают замалчивать злополучный спор между материализмом и идеализмом. Но автору данной книги незачем что-либо замалчивать: он не был на стороне материалистов, когда у нас ругали идеализм, и сейчас отстаивает правоту идеализма отнюдь не в опровержение материализма. Он знает, что материализм, как и идеализм, — это тоже метафизика, причем так же необходимая для физики.

«Метафизика» собственно означает учение о реальности, или бытии, будь оно материальное или идеальное. Сами приверженцы «диалектического материализма», хотели они того или нет, были метафизиками — метафизиками материализма и лишь по недоразумению объявляли метафизику «буржуазной идеологией». Но теперь «основной вопрос философии», разделивший, по словам Ф. Энгельса, философов на два непримиримо враждующих лагеря, просто снят с повестки дня за бессмысленностью — снята и причина пресловутой «борьбы» материалистов и идеалистов. Зато появилась иная опасность — снятие самого бытия, самой метафизики. Эпигоны Венского кружка сейчас увенчивают исторический путь неопозитивизма совсем уже категорическими лозунгами типа «Мир без субстанции и сущности» или «Истина без соответствия реальности». Это — признаки вновь надвигающегося (уже среди интеллектуалов) «негативного мироощущения» — поклонения небытию. Религия ничто (религия дыромоляев) не просто уничтожает цивилизацию: Лев Гумилев показал, что она губит целые народы, превращая этносы в антисистемы.

Ю. С. Владимирову приходится не просто отстаивать бытие, но и разъяснять бессмысленность споров за метафизику: метафизика может быть разной, и разные метафизики могут сосуществовать мирно, не подавляя и не уничтожая одна другую. Себя автор причисляет к материалистам, т. е. он развивает ту научную парадигму, метафизика которой адекватно отвечает термину «материализм», принимая, однако, что сама эта парадигма не может обойтись без идеализма и подразумевает его. Концепция автора такова, что материализм и идеализм находятся в диалектическом единстве, образуя онтологическую «двоицу», исключающую антагонистическое подавление одного его компонента другим.

Книга написана очень своеобразно, такой книги раньше не было. По существу, это единственная в мировой литературе монография, в которой подведен *философский* итог всего развития теоретической физики в XX веке, во всех ее разветвлениях, в каждой из ее новых мировоззренческих парадигм. Удивляет всеохватность изложения — способность автора к проникновению на профессиональном уровне в любые разделы физики. Такое свойство, ныне очень редкое, в недавнем прошлом было присуще разве только знаменитому «многопредметнику» акад. Л. Д. Ландау, в многотомном курсе (совместно с Е. М. Лифшицем) изложившему всю современную ему теоретическую физику. Ю. С. Владимирову предстояла иная задача: сформулировать принципы *фундаментальной* физики — такой физики, которая содержит в себе свои философские (методологические) основания. Философские основания современной «тео-

ретической физики» практически не были затронуты в курсе Ландау — Лифшица, между тем они развивались многими теоретиками — теми, кого Ю. С. Владимиров причисляет к «метафизикам». Это — Дж. Уилер, С. Вайнберг, В. А. Фок, Р. Пенроуз. К ним же следует отнести их предшественников А. Эйнштейна, Н. Бора, П. Дирака, В. Гейзенберга...

В каком же смысле эти физики являются метафизиками?

Должна ли физика бояться метафизики?

«Гипотез не измышляю» (И. Ньютон). Великий мэтр написал эти слова лишь в пику декартовой метафизике. Сам же он от метафизики не отказывался. Чтобы создать математическую физику, ему пришлось «измыслить» множество непроверяемых наблюдениями постулатов — прежде всего новую метафизику пространства.

Если физика отделена от метафизики некоей абсолютно ненарушимой демаркационной линией, то, очевидно, физика по существу своему должна отстраняться от всякой метафизики. Правда, такой демаркационной линии не знало, например, умозрение древних греков. У них физика рождалась метафизикой: Аристотель, создавая свою «Физику», для ее обоснования писал «Метафизику». Но такую демаркационную линию провел в Новое время И. Кант в «Критике чистого разума». Он впервые отделил непроницаемой стеной метафизику от всех теоретических наук о природе, разделив область применения разума на чувственные созерцания — *феномены* — и несозерцаемые сущности — *ноумены*. Всю математику (и основанную на ней математическую физику) Кант отнес к области созерцаний: он так и определил математику — как мышление о предметах, конструируемых рассудком в образах *чистого* созерцания (т. е. созерцания, отвлеченного от ощущений). Все, что измышляет чистый разум вне созерцаний («дискурсивное мышление», или «трансцендентальные идеи»), Кант отнес к метафизике. Область применения разума к созерцаниям он назвал рассудком и подчеркивал, что «без такого разграничения метафизика просто невозможна» (И. Кант).

Таким разграничением И. Кант разрешил знаменитый «философский скандал» между сенсуалистами и реалистами, совершив, как говорят, коперниковский переворот в философии. Он действительно доказал способность рассудка создавать внеопытные категории («синтетические суждения a priori»), упорядочивающие наш чувственный опыт (сферу созерцаний). Однако цена философской революции оказалась непомерно высокой. Само научное познание природы оказывалось возможным потому только, что все познаваемое в предметах создается самим же

рассудком, по присущим ему априорным правилам и законам. Отсюда кантианская формула: «Рассудок не черпает свои законы (a priori) из природы, а предписывает их ей». Кантианская «природа» и ее законы создаются субъектом; природа же как мир объектных вещей (существование которых как источников субъективных ощущений Кант не отрицал) отодвигалась в область метафизики, т. е. научно непознаваемого. Вещи — объекты стали ноуменами, непознаваемыми «вещами в себе».

Оскандалившиеся философы вынуждены были принять эту скептическую позицию, и под растущим влиянием кантианства физика *после* Ньютона до самого XX века развивалась по пути позитивизма, изгонявшего из физики всякий метафизический элемент. В результате, как пишет П. П. Гайденко, «к концу XIX — началу XX века неокантианство и непозитивизм устранили онтологию как предмет философского познания — понятие бытия почти совсем выпало из поля зрения философов».

Однако уже в конце XIX века Вл. Соловьев подверг критике такой взгляд на метафизику. Существует ли в самом деле непроходимая граница между физикой и метафизикой? Вл. Соловьев писал: «Ошибочно противопоставление метафизики как знания чисто умозрительного положительной науке как знанию чисто опытному. Действительность, с которой имеет дело наука, есть *умственное построение*, невидимое и не подлежащее никакому восприятию. Положительная наука неизбежно становится на тот путь сверхчувственного, умозрительного построения вселенной, по которому метафизика пытается идти далее до конца. У метафизики нет какого-нибудь особого, исключительно ей свойственного метода; она пользуется всеми способами научного мышления, отличаясь от положительных наук лишь стремлением дойти до *окончательного мировоззрения, из которого можно было бы объяснить все области бытия в их внутренней связи*» (курсив мой — В. З.).

Мировоззрение, из которого можно было бы объяснить все области бытия, сейчас называется единой картиной мира; в физике это — единая теория взаимодействий. Вл. Соловьев, не доживший до начала XX века, пророчески определил главную цель, которую поставит перед собой физика этого века. Он определил ее как ту цель, которую всегда ставила перед собой метафизика.

Демаркационная линия между физикой и метафизикой была снята не философами, которым нечего было возразить Канту, а самим развитием наук. Уже в XIX веке открытие неевклидовых геометрий показало, что геометрия перешла демаркационную линию: выяснилось, что аксиомы геометрии могут противоречить созерцательной интуиции. Геометрия не могла более считаться частью «чистой математики» (в понима-

нии Канта): ее следовало либо рассматривать как часть физики — проверять ее аксиомы экспериментально, либо отнести к области метафизики.

Однако А. Пуанкаре показал вскоре: вследствие множественности геометрий, каждая из которых может адекватно описывать внешний мир, проверить истинность геометрий на опыте невозможно. Опыт лишь указывает, какая из геометрий удобнее для описания мира. Обнаружилась дилемма: либо геометрия ничего не дает для познания мира (это стало называться конвенционализмом — условным соглашением о выборе геометрии), либо ее предмет относится к области ноуменов. И при этом ноумены уже не были скрыты от познания непроницаемой стеной.

Дилемма была разрешена в XX веке, когда физика решительно стала искать свои принципы в метафизике. Физика сама разрушила воздвигнутую Кантом перегородку между образами созерцания и ноуменами. Так, основное уравнение квантовой механики было записано для несозерцаемого объекта — Ψ-функции. А 4-мерные пространства общей теории относительности (не говоря уж о многомерных пространствах, в которых геометризуются объединенные теории полей) прямо используют геометрические объекты как ноуменальные.

Метафизика в «Метафизике» Ю. С. Владимирова

Теперь ясно, почему предлагаемая читателю книга названа «Метафизика». Она подводит итог усилиям XX века в создании «окончательного мировоззрения, из которого можно было бы объяснить все области бытия в их внутренней связи». В ней впервые четко определено, что все предлагавшиеся единые теории взаимодействий могут быть разделены на два класса, которые автор называет двумя миропониманиями: «физическим» (часть I книги) и «геометрическим» (часть II). Каждое из них есть метафизика, хотя творившие их ученые далеко не все сознавали это. В геометрическом видении физические поля выступают как ноумены геометрии, в физическом — как ноумены субстанции (субстрата), получившей название *частицы-поля* (единая метафизическая категория, объединившая частицы с полями переносчиков взаимодействий).

В течение почти столетия оба эти видения мира существовали самостоятельно, независимо друг от друга, несмотря на колоссальные усилия вывести одно из них из другого (это — не решенная до сих пор проблема соединения квантовой механики и общей теории относительности). Причина, конечно, была в том, что метафизики, лежащие в их основе, различны. Метафизика геометрической картины мира — это метафизи-

ка пространства, онтология пространства. Так, в гравитации Эйнштейна пространство является субстанцией (абсолютом) такого же типа, как и у Ньютона, с тем отличием, что это — уже 4-мерное пространство, объединившее пространство и время в единый, новый абсолют. Этот абсолют в дальнейшем обобщался на многомерие, чтобы описать в рамках субстанционального многомерия другие типы взаимодействий: электромагнитное (5-мерие Калуцы—Клейна), а также слабое и сильное взаимодействия (6-мерие и 8-мерие). На этом пути квантовые свойства частиц микромира выводились из свойств симметрий пространств высших разномерностей.

Однако единой геометрической картины мира не получилось: в мире квантов оказалась неприменимой субстанциальность классического пространства: там приходилось отказываться от его главнейших свойств — непрерывности и даже линейной упорядоченности (причинности), а это, по признанию Эйнштейна (инициатора этих исследований), смахивало на «попытку дышать в безвоздушном пространстве».

С другой стороны, шел процесс встречный: попытки вывода гравитации из квантовой физики; это были попытки снятия геометризации взаимодействий. Результат был тот же и причина та же: метафизика квантов не могла вобрать в себя макроскопическую субстанцию пространственности.

В такой ситуации автор книги поставил вопрос иначе: нельзя ли «попытаться найти новую основу, от которой можно было бы перейти и к полевой, и к геометрической формулировкам?» Раз две метафизики не совмещались друг с другом, можно было заключить, что ни одна из них не достигает в полной мере цели метафизики — не дает окончательного мировоззрения, из которого можно было бы объяснить все области бытия — объединить в одной теории все взаимодействия. Следует поставить на их место новую метафизику, более адекватно отвечающую цели всякой метафизики. Она излагается автором в форме его собственного — третьего, «реляционного миропонимания» (часть III книги). Само это новое видение мира было подготовлено рядом «метафизиков» XX века: Дж. Уилером («предгеометрия»), Р. Пенроузом (твисторная программа), А. Д. Сахаровым (индуцированная гравитация) и др.

Требовалось построить физику без классических понятий пространства-времени, макроприбора (без которых не могли обойтись ни теория относительности, ни квантовая механика), даже без метрики, причинности, мировых линий частиц. Подробное ее описание читатель найдет в самой книге, моя же задача — пояснить смысл содержащейся в таком построении метафизики. Ее следует назвать *метафизикой от-*

ношений (хотя сам автор не вводит такого термина). И как таковая она противостоит метафизике субстанций.

Эта новая метафизика, существование которой предстояло доказать автору, весьма отличается от классической метафизики, которая понималась именно как метафизика субстанций, имеющая дело с онтологией, т. е. бытием, как с чем-то первичным, из чего выводился мир наблюдаемых явлений. А здесь прежние субстанции (будь то субстрат-поле или пространство) вторичны, так как вытекают из более глубокой онтологии. Так, прежняя метафизика — метафизика (многомерного) пространства-времени — теперь оказывается «лишь вершиной плавающего айсберга. Его подводная часть оказывается скрытой для всех, кто ограничивается рамками лишь геометрического подхода». Глядя на надводную часть айсберга, можно догадываться о существовании его подводной части, но любому наблюдателю естественно покажется, что подводная часть по своей структуре вряд ли существенно отличается от надводной. Здесь же положение было иным и более трудным. Требовалось раскрыть структуру этой более глубокой («подводной») онтологии, заранее предполагая, что это совсем иная онтология.

Прежние онтологии не могли быть применимы к микромиру. Насчет онтологии классического (непрерывного) пространства уже говорилось: в ней пришлось бы дышать, как в безвоздушном пространстве. А могла ли это быть онтология субстрата? На первый взгляд, такой субстрат в микромире есть, и называется он физическим вакуумом. Однако, по общепринятому представлению, этот субстрат есть ничто, т. е. ничто актуальное — чистая потенция. Любое нечто содержится в этом ничто, но лишь потенциально: *виртуально*. Это чем-то напоминает человеческую мысль: в ней все содержится, но ничто не материально. Оценку «онтологии виртуальности» дал С. С. Хоружий в статье «Род или недород?» («Вопросы философии», №6, 1997), назвав эту онтологию своего рода «недобытием». Бытие не сводится к одной только виртуальности: «Все существующее не есть виртуальность». Этот «недород» (виртуальный, потенциальный мир) воистину погубил бы онтологию.

Новую, реляционную метафизику автору удается отстоять тем аргументом, что она более, чем метафизики субстанций, приближает нас к не достигнутой пока цели всех метафизик — к единой картине мира, к абсолютной метафизике Природы. Реляционное видение мира позволило из системы отношений (*бинарной геометрофизики*), созданной для микромира, вывести классическое пространство-время (одновременно получив его размерность $n = 4$, *постулируемую* в геометрическом видении), а также все следствия квантовой теории (одновременно объяснив то,

что сама эта теория объяснить не могла, а лишь постулировала: причину вероятностного характера теории). Впервые получает логическое обоснование спинорность элементарных частиц. (В квантовом подходе спинорные свойства частиц опять-таки не выводятся, а постулируются как первичные: из спинорных величин строятся как скалярные, так и векторные величины). Наконец, разрешен вопрос о причинности в микромире, которая всегда составляла проблему физики элементарных частиц: для ее решения приходилось искусственно вводить специальные условия причинности. Здесь они заменяются принципом всеобщей взаимосвязи элементов, выражаемой с помощью закона бинарной системы комплексных отношений, к которым неприменимо обычное правило линейной (причинной) упорядоченности. Принцип всеобщей взаимосвязи — это принцип единства мира, через который всегда узнавалась онтология, неизменное в изменениях, подобно Логосу Гераклита. Это и есть онтология реляционной картины мира.

В то же время новая метафизика показывает иллюзорность ноуменов прежних метафизик, еще недавно казавшихся совершенно незыблемыми: это прежние понятия пространства-времени, частиц и полей — переносчиков взаимодействий. Более того, обнаруживается иллюзорность прежнего всеобщего убеждения в локальном характере физики. Вместе с концепцией поля исчезает концепция близкодействия. Ее заменяет принцип зависимости любых событий в мире от состояния всей Вселенной (это — метафизический *принцип Маха*). Гравитационное (эйнштейновское) взаимодействие в новой метафизике утрачивает свою субстанциальность: оно оказывается индуцированным другими видами взаимодействий.

Новая метафизика, которой всего 10 лет, оказалась слишком неожиданной и опровергающей традиции. Она еще должна завоевать признание, а наше дело — привлечь к ней внимание физиков и философов. Пожелаем же ей удачи на трудном пути!

В. Д. Захаров

Предисловие

Современному читателю непросто ответить на вопрос, что такое метафизика. Одна эпоха сменяла другую и вносила свои коррективы не только в само понятие, но и в отношение к нему. Мыслители античности и естествоиспытатели средневековья рассматривали метафизику как систему представлений об основах бытия, о первичных понятиях и закономерностях мироздания, которые трактовались в рамках принятых философско-религиозных учений. Последним придавалось первостепенное значение по сравнению с естественнонаучными дисциплинами. Именно в таком ключе была написана «Метафизика» Аристотеля.

До наших дней дошло утверждение И. Ньютона: «Физика, бойся метафизики!» И тем не менее великого ученого считают не только физиком, но и метафизиком. Многие произведения Г. Лейбница, И. Канта и других известных естествоиспытателей и философов называют метафизическими, хотя в этот термин как Ньютон, так и другие мыслители вкладывали разный смысл. Так, Д'Аламбер, критикуя философские системы от Аристотеля до Лейбница, заявлял: «На место всей туманной метафизики мы должны поставить метафизику, применение которой имеет место в естественных науках, и прежде всего, в геометрии и в различных областях математики. Ибо, строго говоря, нет науки, которая не имела бы своей метафизики, если под этим понимать всеобщие принципы, на которых строится определенное учение и которые являются зародышами всех истин, содержащихся в этом учении и излагаемых в нем» [30, с. 368].

Известно, что Юм скептически относился к возможностям разума осмыслить понятия силы и действия, а отсюда и ко всей метафизике как «разрушительной философии». Тем не менее он писал: «Метафизика и мораль — суть важнейшие отрасли науки; математика и естествоведение не имеют и половины такого значения» [57, с. 8]. И. Кант называл метафизику «чистым философским познанием» и утверждал, что «принципы метафизики (куда принадлежат не только ее основные положения, но и основные понятия) никогда не должны браться из опыта, ибо она должна быть познанием не физическим, а метафизическим, т. е. лежа-

щим за пределами опыта. Итак, в ее основание не ляжет ни внешний опыт, служащий источником собственно физике, ни внутренний, на котором основывается эмпирическая психология. Метафизика есть, таким образом, познание a priori, или из чистого рассудка и чистого разума» [57, с. 18]. Полагая, что настоящей метафизики еще не создано, он писал: «Но так как, тем не менее, запрос на нее никогда не может исчезнуть, потому что интерес общего человеческого разума слишком тесно с нею связан, то нужно будет признать, что неизбежно предстоит, как этому ни сопротивляйся, полная реформа или, лучше сказать, новое рождение метафизики по совершенно неизвестному до сих пор плану» [57, с. 6]. В «Пролегоменах» Кантом была сделана попытка сформулировать общие принципы будущей метафизики.

В XX веке один из создателей (копенгагенской) интерпретации квантовой механики Макс Борн в лекции, посвященной юбилею Джоуля (в статье «Физика и метафизика»), сказал: «Позвольте процитировать вам определения метафизики, взятые у двух современных философов. Согласно Вильяму Джемсу, «метафизика — это необычайно упорное стремление мыслить ясным образом». Бертран Рассел пишет: «Метафизика, или попытка охватить мир как целое посредством мышления». Эти формулировки подчеркивают две главные стороны метафизики: одна — метод (обязательная ясность мышления), другая — предмет изучения (мир как целое)... Я предлагаю употребить слово «метафизика» в более скромном значении — как в отношении метода, так и предмета, — а именно как «исследование общих черт структуры мира и наших методов проникновения в эту структуру» [11, с. 190]. После обсуждения достижений фундаментальной физики и их влияния на мировоззрение человечества М.Борн закончил лекцию одним замечанием по поводу определения метафизики, данного Расселом: «Метафизика — попытка постичь мир как целое с помощью мысли. Имеет ли какое-нибудь значение для решения этой проблемы гносеологический урок, преподанный физикой? Я думаю, что да, ибо он показывает, что даже в ограниченных областях описание всей системы в единственной картине невозможно. Существуют дополнительные образы, которые одновременно не могут применяться, но которые тем не менее друг другу не противоречат и которые только совместно исчерпывают целое. Это весьма плодотворное учение, и при правильном применении оно может сделать излишним многие острые споры не только в философии, но и во всех областях жизни» [11, с. 208].

В данной книге речь идет об основаниях бытия с позиций не философа, а физика и рассматриваются вопросы, которые в прямом смысле лежат «за физикой», «над физикой» или «после физики». Находясь

на границе собственно теоретической физики, математики и философии (даже религии), данная область знания занимается философским осмыслением физики, достигшим к концу XX века высот, вплотную приблизивших ее к тому, что естественно назвать старым термином «метафизика». «Некоторые авторы, — как отмечает С. К. Клини в книге «Введение в метаматематику», — пользуются приставкой «мета» для обозначения языка или теории, в которой другой язык или теория делаются предметом изучения, не ограниченного финитными методами» [60, с. 62].

Предложенное здесь естественнонаучное осмысление мира является результатом сопоставления нескольких миропониманий, отражающих различные точки зрения, опирающиеся на разные комбинации взаимно дополняющих друг друга категорий.

Современное состояние физической науки можно сравнить с ситуацией, сложившейся в начале XX века, когда были созданы теория относительности и квантовая механика. Напомним, эти открытия были основаны на синтезе более простых категорий в новые «обобщенные»: на объединении пространства и времени в 4-мерное пространство-время, на едином описании волны и частицы в рамках волновой механики, на переходе от гравитационного поля в плоском пространстве-времени к искривленному пространству-времени общей теории относительности. Несомненно, эта тенденция будет развиваться вплоть до построения теории единой физической сущности, лежащей в основании мира. В данной книге сделана попытка проанализировать этот процесс и наметить новый подход к решению данной проблемы.

В фундаментальной теоретической физике XX века ключевой характер приобрели те же концептуальные вопросы и проблемы, которые на протяжении двух с половиной тысячелетий были в поле зрения философии (и богословия). Исследуя широкую область природы, охватывающую закономерности различных масштабов — от свойств Вселенной в целом до самых элементарных кирпичиков мироздания в микромире, физика вскрыла чрезвычайно важные принципы, некоторые из которых сквозным образом пронизывают все сферы бытия от элементарных частиц до духовной жизни человека.

Физика имеет дело с более простыми системами, которые поддаются строгому математическому описанию, позволяющему отделить менее существенные факторы от ключевых, поэтому в рамках фундаментальной теоретической физики можно разглядеть и сформулировать общие принципы метафизики, имеющие универсальное значение.

В книге подобного рода вряд ли возможно обойтись без формул. В тексте содержится такое минимальное их количество, чтобы достаточно

подготовленный читатель имел возможность убедиться в обоснованности сделанных утверждений и выводов. Однако автор стремился к тому, чтобы книга была доступной и неспециалистам в области теоретической физики. Последние при чтении могут опускать трудные места с формулами без ущерба для понимания основного содержания книги.

Приступая к изложению материала, автору хотелось бы присоединиться к словам Эрнста Маха из предисловия его книги «Познание и заблуждение»: «Работая в течение более сорока лет в лаборатории и на кафедре как наивный наблюдатель, не увлеченный и не ослепленный никакой определенной философской системой, я имел возможность разглядеть пути, по которым развивается наше познание. Я сделал попытку описать эти пути в различных сочинениях. Но и то, что мне удалось изучить, не есть исключительно мое достояние. Другие внимательные исследователи наблюдали часто то же самое или весьма сходное... Я надеюсь, что мой труд не пропадет даром. Может быть, даже философы усмотрят когда-нибудь в моем предприятии философское очищение естественно-научной методологии и со своей стороны придут мне навстречу. Если же этого не случится, я все же надеюсь, что принесу пользу естествоиспытателям» [79, с. 4–5].

Автор выражает признательность коллегам, ученикам и участникам семинаров «Геометрия и физика» и «Фундаментальная физика и духовная культура» (физический факультет МГУ), принимавшим участие в обсуждении вопросов, которым посвящена эта книга.

Введение

В физике принято различать 1) прикладную часть, где во главу угла ставится *физический эксперимент* (в теоретической физике — это соответствие теоретических построений опыту), 2) *математический аппарат* (логическую, рациональную составляющую теории) и 3) *физическую интерпретацию (философское осмысление)*. Часто ведутся споры о том, какая из этих трех сторон физики важнее.

На протяжении большей части XX века полагалось, что безусловным приоритетом в науке пользуется *практика, эксперимент*, и назначение науки виделось в решении, главным образом, прикладных задач. Поэтому подавляющая часть ассигнований на физику, выделялась в связи с потребностями военно-промышленного комплекса. Многие и сегодня продолжают утверждать, что физика — наука, прежде всего, экспериментальная.

Со времен античности бытует мнение, что научность той или иной области знания определяется степенью использованной в ней *математики*. Современная физика без математики немыслима, причем к концу XX века в теоретической физике использовались буквально все разделы современной математики. Иногда бывает трудно различить, где кончается математика и начинается физика. Порой увлечение физиков-теоретиков чистой математикой принимало крайние формы. Так, в 60–70-х годах XX века чрезвычайно популярными были исследования по аксиоматике квантовой теории. Полагалось, что все беды с расходимостями (с появлением бесконечно больших величин в физике) кроются в недопонимании свойств сингулярных функций, в нерешенности некоторых математических проблем аналитических функций и т. д. В итоге значительная часть видных физиков-теоретиков навсегда ушла из физики в математику.

Другой пример: исследования конца XX века в области классической общей теории относительности в значительной степени превратились в работы по математической физике, направленные на поиск новых решений системы из нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка, каковыми являются уравнения Эйнштейна. За почти 90 лет

существования общей теории относительности заложенные в ее основу физические принципы оказались практически выработанными.

Согласно третьей точке зрения, движущей стороной теории являются физические идеи и адекватная *физическая и философская интерпретация*. В этой связи часто называются работы М. Фарадея, Э. Маха, Г. А. Гамова и других, в которых акцент делался на физическую суть проблемы. Как правило, названные физики обходились довольно простыми математическими средствами, но тем не менее достигали первоклассных результатов.

В центре внимания предлагаемой книги находится третья составляющая физики — физическая интерпретация и философское осмысление достигнутых результатов, — которая принадлежит сфере *фундаментальной теоретической физики*, изучающей ключевые понятия, принципы, концепции и законы, лежащие в основании физической картины мира. При этом к концу XX века ряд ее понятий, принципов и концепций приобрел ярко выраженный метафизический характер.

В фундаментальной теоретической физике XX века центральное место занимало рассмотрение природы и свойств **трех** физических (метафизических) категорий, лежащих в основании всех развивавшихся теорий и программ: **(П-В)** *пространства-времени*, **(Ч)** *частиц* (на квантовом уровне — фермионов) и **(П)** *полей переносчиков взаимодействий* (бозонов: фотонов, Z-бозонов, глюонов и т. д.).

Можно сказать, что в общепринятой физике изучаются тела (частицы), которые находятся не иначе, как в пространстве-времени и взаимодействуют друг с другом через поля: гравитационное, электромагнитное и иные. В учебниках и большинстве книг по физике эти категории в значительной степени имеют самостоятельный характер. Допускается изучение свойств пространства-времени без материи, можно также рассматривать свободные электромагнитное и другие поля (без частиц-источников). Отнесем все теории с таким пониманием категорий к *триалистической физической (метафизической) парадигме*. Под *парадигмой* будем понимать систему понятий, категорий и принципов, определяющих основания и характер теории[1].

В XX веке развивалось несколько принципиально различных физических теорий и программ, тесно связанных с пониманием природы трех

[1] Согласно принятому определению, «ПАРАДИГМА (гр. paradeigma — пример, образец) (филос., социол.) 1) Строго научная теория, воплощенная в системе понятий, выражающих существенные черты действительности. 2) Исходная концептуальная схема, модель постановки проблемы и их решения, методов исследования, господствующих в течение определенного исторического периода в научном сообществе» [152].

названных физических категорий. Теорию относительности (специальную и общую) и квантовую теорию часто называют двумя столпами теоретической физики XX века. Они построены на существенно различных основаниях.

В квантовой теории нет частиц в классическом их понимании, нет также полей переносчиков взаимодействий как непрерывно распределенной в пространстве-времени субстанции. Вместо них используется новая *обобщенная категория поля амплитуды вероятности*, определяющая возможность обнаружения квантов поля в соответствующих местах пространства-времени. Последнее же сохраняет статус независимой физической категории, как в триалистической парадигме.

В общей теории относительности отсутствует отдельная категория плоского пространства-времени и нет отдельного гравитационного поля, — вместо них вводится новая *обобщенная категория искривленного (риманова) пространства-времени*. Гравитационное взаимодействие описывается геометрическими характеристиками искривленного пространства (метрикой, кривизной). Прочая материя, в частности частицы, вносится в пространство-время извне и учитывается в виде правой части уравнений Эйнштейна. В многомерных геометрических моделях типа теории Калуцы—Клейна наряду с гравитационным полем геометризуются поля переносчиков других взаимодействий: электромагнитного, электрослабого, сильного.

В течение XX века были затрачены огромные усилия на попытки объединения закономерностей общей теории относительности и квантовой теории, но они оказались тщетными из-за того, что физики-теоретики здесь имели дело с теориями, построенными в рамках принципиально различных метафизических парадигм, а найти более общую парадигму, позволяющую взглянуть на их основания с единых позиций, так и не удалось.

В литературе представлены исследования в рамках и других парадигм, в частности, можно назвать теорию прямого межчастичного взаимодействия Фоккера—Фейнмана, опирающуюся на концепцию дальнодействия, альтернативную доминирующей в XX веке концепции близкодействия (теории поля). В ней среди первичных понятий (категорий) вообще нет полей переносчиков взаимодействий. Их роль берут на себя категории частиц и пространства-времени в специальном обобщенном их понимании.

Таким образом, в физике XX века оказались представленными теории (программы) из разных физических (а точнее, метафизических) парадигм, опирающихся на разные категории и принципы. Можно утверждать, что названные и некоторые другие исследования фактически

представляли собой попытки опереться не на три, а на меньшее число из названных или обобщенных метафизических категорий. Естественно, что главным образом изучались возможности построения физической картины мира на основе **двух** метафизических категорий: обобщенной, объединяющей в себе две категории, и оставшейся. Такие теории будем называть *дуалистическими*. Имея три варианта объединения двух категорий из трех, получаем **три** типа физических теорий (дуалистических парадигм) или *три миропонимания* одной и той же физической реальности под разными углами зрения.

Вопросы об основаниях (физической) картины мира, о числе ключевых физических категорий, о виде возможных парадигм и их числе следует отнести к сфере метафизики. Таким образом, *фундаментальная теоретическая физика XX века оказалась неразрывно связанной с метафизикой*.

В метафизике всегда присутствовали **два** подхода к реальности: холизм и редукционизм. *Холизм* основан на таком понимании мира, когда целое доминирует, предшествует своим частям. Холизму противостоит *редукционизм*, в котором единое расщепляется на части, понимаемые более первичными, предшествующими целому. Оба эти подхода имели важное значение и дополняли друг друга в процессе познания мироздания.

Редукционизм доминировал (и продолжает доминировать) в развитии представлений о структуре материи. Достаточно назвать учение об атомно-молекулярной структуре вещества, понимание атомов в виде ядер, окруженных электронными оболочками, протонно-нейтронную модель ядер, кварковую структуру нуклонов, гипотезы о прекварках и т. п. Редукционизм проявился и в выделении названных выше категорий: пространства-времени, частиц, полей переносчиков взаимодействий, которые в триалистической парадигме имеют статус самостоятельных сущностей. Этой стороне редукционизма в книге уделено особое внимание.

Холизм можно усмотреть в трудах античных мыслителей, в стремлениях Р. Декарта, Р. И. Бошковича и других естествоиспытателей и философов нового времени построить монистическую картину мира. Особо важное значение идеи холизма имели в XX веке, что проявилось в попытках теоретиков объединить известные виды физических взаимодействий, построить единую теорию поля и геометризовать всю физику.

Названные выше главные физические теории, определявшие лицо физики XX века, свидетельствуют о том, что доминирующей была тенденция перехода от триалистической парадигмы, сформулированной еще Ньютоном, через дуалистические к *монистической парадигме*, опи-

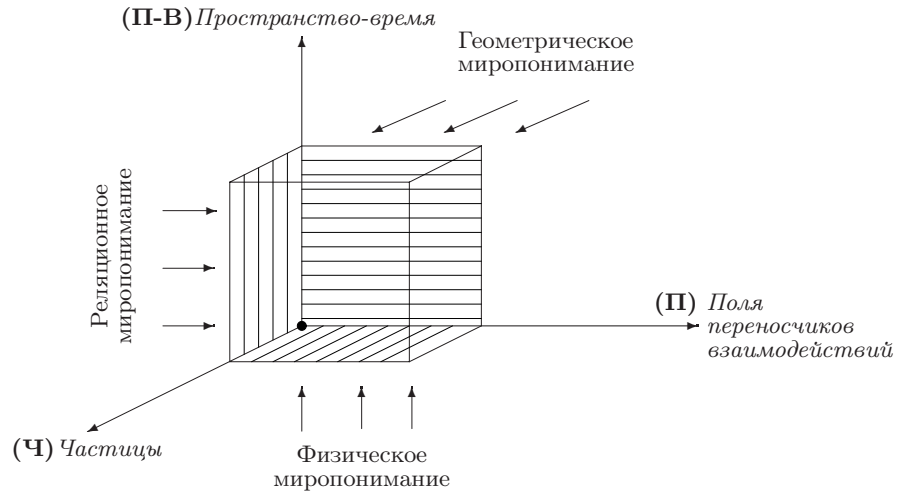

Рис. 0.1. Куб физического мироздания, построенный на трех метафизических категориях

рающейся на единую обобщенную категорию, т. е. наблюдалось стремление от категорийного редукционизма к холизму. Именно эти вопросы, а также попытки найти и описать единую обобщенную категорию (первооснову мира) находятся в центре внимания данного исследования.

Чрезвычайно важным фактором метафизического характера является выделенность, как в редукционистском, так и в холистском подходах, **двоичности и троичности**[1].

В настоящей книге анализируется и развивается тенденция к категорийному холизму (к монистической парадигме), т. е. названные категории предлагается считать лишь временными, вспомогательными понятиями, удобными для восприятия мироздания. Основное внимание будет сосредоточено на выявлении в теориях различных парадигм свойств более глубокой сущности (единой обобщенной категории), лежащей за ними.

На рисунке 0.1 единое физическое мироздание представлено в виде куба, построенного на трех осях, соответствующих названным метафизическим категориям триалистической парадигмы. Одна из вершин куба выбрана в качестве начала координатных осей, олицетворяющих три

[1] Идея о триединстве мира является одной из наиболее устойчивых и распространенных в мифологии и религии практически всех народов мира. В даосизме она проявляется в виде триграмм, в индуизме это единство Брахмы, Шивы и Вишну, имеется ряд примеров троичности в античной культуре. Троичность ярко выражена в христианском догмате о Троице.

категории: по вертикали — категория пространства-времени, по горизонтали вправо — категория полей-переносчиков взаимодействий и вперед направлена ось, соответствующая категории частиц. Физические теории триалистической парадигмы, можно сказать, описывают мироздание через проекции на оси-ребра куба.

Назовем *физическим миропониманием* вариант теорий (метафизических парадигм), основанный на объединении категорий частиц и полей. На рисунке физическое миропонимание соответствует взгляду на куб физической реальности снизу. Этот подход определял главное, можно сказать, магистральное направление развития физики в XX веке. К теориям этой парадигмы относится квантовая механика и квантовая теория поля, в которых симметричным образом рассматриваются (бозонные) поля переносчиков взаимодействий и (фермионные) поля частиц. Апогей этого подхода проявился в открытых во второй половине XX века суперсимметричных преобразованиях между фермионными и бозонными волновыми функциями. Эта же линия продолжается в столь модных в самом конце XX века исследованиях суперструн и супермембран. Физическое миропонимание рассмотрено в первой части книги.

Назовем *геометрическим миропониманием* взгляд на куб физической реальности со стороны его задней грани, характеризуемой ортами категорий пространства-времени и полей переносчиков взаимодействий. Центральное место здесь занимает эйнштейновская общая теория относительности. К этому же классу теорий относятся многомерные геометрические модели физических взаимодействий, называемые ныне теориями Калуцы—Клейна, где, кроме гравитации, геометризуются и другие виды физических взаимодействий, в первую очередь, — электромагнитные. Геометрическое миропонимание является предметом рассмотрения во второй части книги.

Взгляд на физическую реальность с позиций категорий пространства-времени и частиц назовем *реляционным миропониманием*. К нему, прежде всего, относится теория прямого межчастичного взаимодействия Фоккера—Фейнмана, основанная на концепции дальнодействия, альтернативной общепринятой концепции близкодействия, воплощенной в теории поля.

Дальнейшее развитие этого направления просматривается в так называемой теории (унарных) физических структур Ю. И. Кулакова[1], где вместо отдельных категорий пространства-времени и частиц вводится новая (метафизическая) категория физической структуры. Реляционному миропониманию посвящена третья часть книги.

[1] Следует отметить, что Ю. И. Кулаков не связывает свою теорию с концепцией дальнодействия.

Главной целью физиков-теоретиков является построение физической картины мира на основе **единой обобщенной категории**, которое поразному «видится» с каждой из трех сторон куба: единый вакуум в физическом подходе, единая геометрия в геометрическом миропонимании или физические структуры (системы отношений) в реляционном миропонимании. На наш взгляд, это разные названия одного и того же физического (метафизического) первоначала — того, что лежит «за», «над» или «под» физикой и составляет ядро (холон) монистической парадигмы, причем различие обусловлено предварительным, пока еще неполным его знанием в отдельных миропониманиях.

Одна из главных задач книги состоит в *описании новой физической программы (парадигмы) — бинарной геометрофизики*, — основанной на **одной** обобщенной метафизической категории. Выход на эту монистическую парадигму оказался возможным в результате анализа всех других физических (метафизических) парадигм, опирающихся на комбинации двух и трех начал (категорий). Бинарная геометрофизика впитала в себя ряд черт теорий других парадигм, в частности, идеи многомерных геометрических теорий Калуцы—Клейна, теории прямого межчастичного взаимодействия Фоккера—Фейнмана, и использует математический аппарат теории бинарных физических структур Кулакова. В главах 12 и 13 обсуждены ее возможности в описании физики микромира, в частности, в решении проблемы объединения физических взаимодействий.

Для осмысления и получения наблюдаемых следствий из теоретических построений, содержащих обобщенные категории, необходимы *методы обратного возвращения* к привычным понятиям (категориям) триалистической парадигмы, что осуществляется посредством своеобразных методов проецирования новых теорий на классические понятия. В общей теории относительности это делается с помощью методов систем отсчета. В теориях Калуцы—Клейна используются аналогичные методы $1+4$- или $1+\ldots+4$-расщепления, которые можно понимать как обобщенные системы отсчета, характеризующие физическую ситуацию. В квантовой механике это реализуется с помощью эрмитовых операторов, обладающих вещественными собственными значениями, которые соответствуют показаниям макроприборов. Известно, что В. А. Фок в России и В. Паули на Западе обращали внимание на эквивалентность ролей макроприбора в квантовой механике и системы отсчета в теории относительности.

Общие принципы метафизики проявляются и в других областях знания, в частности, в сфере философских (философско-религиозных) учений.

Глава 1

Метафизика с древнейших времен до XVIII века

Процесс формирования ключевых метафизических категорий[1] чрезвычайно интересен и в какой-то степени поучителен для исследователей в области фундаментальной теоретической физики, так как многие проблемы рубежа XX и XXI веков перекликаются с научными исканиями прошлого. Более того, по словам Э. Шредингера, «с помощью серьезной попытки возвратиться в интеллектуальную среду античных мыслителей, гораздо меньше знавших то, что касается действительного поведения природы, но также зачастую значительно менее предвзятых, мы можем вновь обрести у них свободу мысли, хотя бы, возможно, для того, чтобы использовать ее, с нашим лучшим знанием фактов, для исправления их ранних ошибок, которые все еще могут ставить нас в тупик» [140, с. 18].

Обращение к истории науки убедительно свидетельствует о том, что наличие разных точек зрения служило одним из важных стимулов для развития естествознания в Европе и что былые конфронтации различных школ и систем, как и сегодня, носили метафизический характер и были обусловлены попытками канонизировать лишь одну из парадигм, которые впоследствии, как правило, оказывались не альтернативными, а дополняющими друг друга.

1.1. «Книга перемен»

Корни метафизики принято искать в античной философии VI–V веков до н.э., но примерно в то же время возникли философско-религиозные учения Востока: буддизм и даосизм, в основе которого лежало еще бо-

[1] В философском плане, причем в тесной связи с естествознанием, данная проблематика затронута в монографиях П. П. Гайденко «История греческой философии в ее связи с наукой» [30] и «История новоевропейской философии в ее связи с наукой» [31].

лее древнее учение, принадлежавшее легендарному первому правителю Поднебесной мудрецу Фуси (2852–2737 гг. до н.э.). Тогда же были сформулированы принципы «Книги перемен» («И цзин»), составившей ядро менее древнего китайского «Пятикнижия» («У цзин») XII века до н.э. и затем отраженной Лао-Цзы (VI–V в. до н.э.) в его основополагающем сочинении «Книге о дао и дэ» («Дао дэ цзине»).

В этих выдающихся памятниках древнего Китая были выражены представления о *неразрывном единстве мира*, которые, кстати сказать, были характерны и для ряда античных мыслителей. Согласно «Книге перемен», единое Первоначало проявляется в виде *двух противоположностей инь* и *ян*, иллюстрируемых в виде широко известного «Чертежа Великого предела» («Тай цзи ту») (см. рис. 1.1). Единый круг разделен на две половины, где черная половина обозначает *инь*, а белая — *ян*. Образ круга является, с одной стороны, символом некоторой целостности, образованной двумя противоположными, но взаимодополняющими друг друга сторонами (началами), а с другой, — отражает цикличность их взаимодействий. Изгиб линии, разделяющей две половины круга, подчеркивает динамику взаимодействия сторон *ян* и *инь* и их готовность к переходу из одной в другую. Белая точка на черном фоне и черная точка на белом фоне олицетворяют «зародышевые» состояния будущих превращений, внутреннюю взаимосвязь, взаимопроникновенность полярностей, являющихся, по выражению сунского мыслителя Чжоу Дуньи (1017–1073), «корнями друг друга». Уже из названия «Книги перемен» следует направленность этого учения на познание изменений и процессов перемен, в отличие от ряда античных учений, обращенных к неизменным небесным истинам.

Чрезвычайно важной особенностью древнего китайского учения является опора на *комбинацию двоичности (диалектики) и троичности («триалектики»)*. В «Книге перемен» определено понятие «середины» (чжун) между двумя противоположностями и введено третье начало в системе миропонимания. Таким образом совершался переход от двоицы к троице, которая обычно интерпретировалась как Земля, Небо и Человек между ними. Позднее, в «Книге о дао и дэ», эта мысль была выражена более абстрактно: «Дао порождает единое, единое порождает двоицу, двоица порождает троицу, а троица порождает все множество вещей». При этом Дао понималось как единый непостижимый, всеохватывающий и таинственный источник и принцип движения всего сущего.

Для комбинации двоичности и троичности был найден наглядный образ в виде системы триграмм, каждая из которых изображается тремя параллельными отрезками двух видов: прерывистого, соответствующего *инь*, и сплошного, олицетворяющего *ян*. Из трех таких отрезков

Рис. 1.1. Символы *инь* и *ян* в окружении восьми триграмм

возможно построить восемь различных комбинаций. На древнем рисунке 1.1 они изображены вокруг *инь* и *ян* внутри круга, олицетворяющего единство мира[1].

Круг мог обозначать и иное: отделение мира земного от мира небесного. На некоторых древних рисунках изображалась двойная система триграмм: одна восьмерка триграмм помещалась внутри круга, как на рисунке 1.1, а другая восьмерка — по периметру окружности вне круга. Внутренние триграммы характеризовали земной мир, а наружные — небесный, а их сочетание давало систему гексаграмм. Примечательно, что небесный и земной мир характеризовались одинаковым образом.

В древнем Китае через триграммы трактовались всевозможные процессы в мире, как в космосе, так и в судьбе человека: возникновение, созревание, угасание и т. д., причем разные этапы процесса виделись в переходе от одной триграммы к другой, т. е. понимались как изменения в триграммах отдельных составляющих.

Возвращаясь к метафизическим категориям и классификации современных физических теорий, заметим, что три отрезка триграмм можно сопоставить с тремя метафизическими категориями в физике: пространством-временем, частицами и полями переносчиков взаимодействий. Тогда эволюция представлений о мире в естествознании прошлого и смена парадигм в теоретической физике XX века также

[1] На рисунке выбран порядок расположения триграмм, отличающийся от традиционных систем Фуси или Вэнь-вана, но более подходящий для метафизики.

могут быть сопоставлены с переходами между триграммами древнего рисунка 1.1. Аналогичные процессы просматриваются и в истории философско-религиозной мысли Западной Европы на протяжении двух с половиной тысячелетий.

В древнекитайской философии проявлялась удивительная гармония в понимании различных сторон реальности, в частности, в определении сути математики (чисел), материи и движущих сил. Древнекитайские мудрецы считали числа одной из важнейших характеристик бытия, элементами некоего космического кода, с помощью которого структурируется и описывается мир. Числа делают вещи познаваемыми, однако вне вещей и процессов они не существуют. В то же время китайцы воспринимали число как некую творческую силу, приводящую к расчленению всякой непрерывности. Нечетные числа считались янскими, а четные — иньскими. Таким образом, натуральный ряд чисел предстает как последовательное чередование янского и иньского начал. Наибольшим смыслом обладали первые числа натурального ряда.

Развитие восточной и западной цивилизаций шло двумя различными путями. Философско-религиозная мысль Востока всегда исходила из неделимого единства мира, а на Западе познание развивалось по пути расчленения единого на части. Эти два подхода к физической реальности получили название *холизма* и *редукционизма*, первый — характерен для восточной цивилизации, тогда как второй стал доминирующим в миропонимании западной цивилизации, хотя в учениях пифагорейцев и Платона были сильны идеи холизма.

Противоположными у китайцев и европейцев были и представления о возникновении мира, в которых отразились разные точки зрения: *эволюционная* и *креационистская*. В Европе возобладало креационистское понимание: согласно христианскому учению, мир был сотворен Богом, что соответствует современной физической концепции рождения Вселенной в результате большого взрыва. На Востоке утвердился эволюционный подход к происхождению мира из абстрактного Дао, — в китайском учении не было антропоморфного Первоначала и отсутствовали представления о сотворении мира неким сверхъестественным существом.

Наблюдаемая в современной фундаментальной теоретической физике тенденция объединения физических категорий в единое неразрывное целое позволяет говорить о некотором сближении с восточной культурой и о перспективности религиозных и философских идей Востока для осмысления создаваемой новой физической картины мира. В связи с этим выделим несколько естественнонаучных аспектов в древних учениях Китая, подробно рассмотренных в монографии В. Е. Еремеева «Символы и числа „Книги перемен“» [46].

1. Китайцы представляли себе живой мир-организм обладающим принципом масштабного самоподобия (принципом фрактальности), при котором каждая отдельная вещь состоит из частей, подобных ей как целому, и в то же время сама эта вещь является одной из частей целостного мира и подобна ему структурно. Это означало сходство свойств в микро- и макромирах.

2. Для китайской картины мира характерны представления о непрерывной энергетической субстанции, заполняющей пространство (космос), из которой дифференцируются *инь* и *ян*, участвующие в мировых трансформациях и образующие те или иные вещественные формы. Идеи же дискретности (атомарности) материи в миропонимании древнего Китая отсутствовали.

На современном языке можно сказать, что китайские мудрецы мыслили в терминах полевой теории, согласно которой непрерывное нечто, соответствующее полю, распространяется по всей системе, а не локализовано в отдельных ее элементах. Более того, они исходили из убеждения, что не существует абсолютно автономных субстанциальных сущностей, а есть только сгустки космического поля (энергии).

3. Китайские мыслители полагали, что познанию подлежат только силы взаимодействия между временно образованными центрами сгущений энергии (поля), т. е. внимание было обращено не на взаимодействующие тела, а на силовое пространство между ними. Космос представлялся единым космическим организмом, связанным взаимодействующими силовыми полями. Понятия «отношение», «связь», «движение», «перемены», обслуживающие процессуальное описание действительности, были более значимы для китайской мысли, чем категории «частиц», «субстанции». В этом состоит ее главное отличие от западного мышления.

4. Вся Вселенная представлялась сплетенной из цепочек порождений и всеобщих перемен. В этом океане переменчивости допускались и островки неизменности, но только на некоторое время, потом они должны были сменяться другими временными неизменностями. При этом время находилось в зависимости от явлений, имеющих такую же природу, что и «перемены». Полагалось, что время управляет Небом и Землей, последние управляют переменами, а перемены управляют временем, так что невозможно было указать один универсальный источник изменений — все выстраивалось в тотальную круговерть перемен.

1.2. Школы Пифагора и Платона

Метафизика восточных учений, значительно опередившая свое время, с большим запасом отвечала на запросы жизни и не располагала к актив-

ному философскому поиску. На Западе, удаленном от влияния Востока, развитие шло иным путем. В древней Греции сложилось несколько учений, опирающихся на разные метафизические парадигмы (разные «метафизики»), что, как это ни парадоксально, на первый взгляд, оказалось плодотворным для зарождения науки, развивавшейся в западном регионе без заметного влияния восточной культуры[1].

При анализе учений древности, как и последующих эпох, следует принимать во внимание их философско-религиозную структурность. Здесь имеется в виду мировосприятие на основе одного, двух, трех (или большего числа) факторов, представляющих *материальное, идеальное (рациональное) или духовное начала*. Это убедительно свидетельствует о метафизическом характере учений и позволяет говорить о монистической метафизической парадигме, о триалистической парадигме, опирающейся на три начала, а также о нескольких дуалистических парадигмах. *Для античности типичен дуалистический способ мировосприятия, опирающийся на идеальное и материальное начала.*

Каждое из названных начал характеризуется одной из возможных метафизических парадигм, отличающихся своими специфическими понятийными сферами, причем парадигма идеального начала может не совпадать с парадигмой материального начала, что подтверждается множеством примеров.

Охарактеризуем философско-религиозные парадигмы, парадигмы идеального и материального (естественнонаучных) начал ключевых учений античности, обращая особое внимание на процесс формирования ключевых физических категорий: частиц (материи), пространства и времени, взаимодействий).

Пифагор (VI в. до н.э.) и его школа. Одним из ярчайших доказательств философско-религиозных истоков науки является рождение математики, обязанной своим появлением Пифагору, основавшему религиозный орден, целью которого было очищение души человека для спасения от круговорота рождений и смертей. Главным средством такого очищения объявлялось занятие наукой, прежде всего, математикой.

1. Для школы Пифагора было характерно единство философии, религии, математики и в какой-то степени физики, поэтому утвердившуюся в ней философско-религиозную метафизическую парадигму следует назвать *монистической*. Пифагорейцы особое значение придавали рациональному мышлению, возвысив математику до уровня религиозно-мистического учения, и рассматривали числа и числовые отношения как ключ к пониманию мироздания и его закономерностей. Они искренне ве-

[1] Некоторые авторы оспаривают это мнение и приводят доводы в пользу влияния восточной культуры на формирование учений античности (см., например [46]).

рили, что «книга природы написана на языке математики», как спустя почти два тысячелетия полагал Галилей.

В качестве божественного и естественнонаучного Первоначала понималась единица, рассматривавшаяся как начало чисел и как математический представитель мирового единого и непостижимого: чтобы стать числом, все должно приобщиться к единице. Пифагорейцы считали, что то, в чем не обнаруживается «природа» чисел, не может быть предметом познания.

2. Очевидно, что в монистической философско-религиозной парадигме методологическая и естественнонаучная парадигмы совпадают (тождественны) и также являются *монистическими*. Однако, как будет показано ниже, Первоначало в такой философской системе неизбежно должно обладать несколькими *неразрывно связанными сторонами*. Об этом, анализируя метафизику античности, писал В. Гейзенберг: «... возникает убеждение, что должен существовать единый принцип; но в то же время возникает трудность, каким путем вывести из него все многообразие вещей. Естественный исходный пункт: существует материальная первопричина вещей, так как мир состоит из материи. Однако при доведении до логического конца идеи о принципиальном единстве приходят к бесконечному неизменному субстанциальному «бытию», которое само по себе не может объяснить все бесконечное многообразие вещей безотносительно к тому, считаем ли мы это бытие материальным или нет. Отсюда полярность бытия и становления...» [33, с. 30]. Этот вопрос занимал важное место в учениях Платона и Аристотеля.

В философии Пифагора выделялись две противоположности: единое и беспредельное, числовыми образами которых были единица и двойка, не считавшиеся числами. Первым числом была тройка. Две противоположности отображались во всем числовом ряде через четные и нечетные числа, подобно древнекитайским началам «ян» и «инь». Можно утверждать, что в учении пифагорейцев были заложены основы диалектики.

В соответствии с монистической философско-религиозной парадигмой пифагорейцы *не отделяли чисел от вещей*. Как писал позже Аристотель, «во всяком случае, у них, по-видимому, число принимается за начало и в качестве материи для вещей, и в качестве выражения для их состояний и свойств» [1]. На современном языке можно сказать, что идеальное (числа) и материальное (тела) у них представляли собой нераздельное целое.

3. Материальный мир (космология) пифагорейцев также основывался на диалектических представлениях о двух противоположностях: предельном (наблюдаемом мире) и беспредельном (пустоте, окружающей

мир). Предельное как бы «вдыхает в себя окружающую его пустоту», в результате чего в нем возникает множественность вещей. Аналогичным образом число понималось как возникающее из соединения предела и беспредельного.

В учении пифагорейцев довольно быстро вскрылся ряд трудностей, наиболее существенными из которых были *открытие несоизмеримых отрезков* и *проблема описания движения*.

Несоизмеримость отрезков проявилась в невыразимости в целых числах отношения диагонали к стороне квадрата. Трудности аналогичного плана возникли при извлечении квадратного корня из целых чисел, например, $\sqrt{2}$, при рассмотрении отношения окружности к радиусу и т. д.

Попытки справиться с проблемой несоизмеримости привели Евдокса (прибл. 408–355 гг. до н.э.) к формулировке аксиомы, которую ныне принято называть аксиомой Архимеда. Позже она была включена в аксиоматику геометрии Евклида в качестве четвертого определения.

Проблемы, возникшие при описании движения на основе целочисленной природы мира, нашли отражение в известных апориях Зенона (V в. до н.э.). Утверждают, что всего их было 45, но до нас дошло 9: «Дихотомия», «Ахиллес и черепаха», «Стрела», «Стадий» и другие.

Платон (427–347 гг. до н.э.) и его школа опирались на учение пифагорейцев, несколько его трансформировав.

1. Прежде всего, следует отметить, что в школе Платона монистическое философско-религиозное учение Пафагора было заменено на дуалистическое, в котором разделялись *идеальное (рациональное) начало*, имеющее дело с «горним» миром высшей реальности, и *материальное начало*, соответствующее «дольнему», физическому миру (низшей реальности). Превыше всего ставилась философия (религия), тесно связанная с математикой, а физика, как имеющая дело с объектами чувственного (материального) мира, занимала подчиненное место. Вслед за пифагорейцами Платон уверовал в то, что математическое знание, знание о числах и соотношениях между ними, является единственно достоверным в противоположность мнимым знаниям, т. е. мнениям, которые в то время именовались «физикой». Платон определял две задачи математики. Первая (главная) служила цели приобщения человека к божественному, небесному, к «горнему миру», а вторая понималась как средство упорядочения и расчленения низшей сферы — «дольнего мира», текучего, неуловимого, материального. Платон считал, что чувственный, материальный мир не может быть предметом научного знания, поскольку представляет собой лишь царство теней от высшего мира идей.

2. Метафизика мира высшей реальности имела у Платона *диалектический характер*: мир рассматривался единым, имеющим две противопо-

ложные, но взаимодополняющие стороны. Допущение двух противоположных утверждений (сторон), из которых выводились все возможные следствия и через которые всякое понятие получало свое содержание, обусловило приоритетное внимание к самим отношениям.

В диалектике Платона, доведенной до логического конца, признавался лишь *циклический метод доказательств*, когда исходные положения обосновываются через сопоставления их с противоположными суждениями, в отличие от *линейного* (точнее, лучеобразного) *метода*, позднее оформленного в трудах Евклида, который исходил из системы аксиом и постулатов.

В соответствии с дуалистическим характером своей философии, Платон резко разделял математику на арифметику и геометрию. Арифметика занимала у него главенствующее положение, как более простая, достоверная и наиболее близкая к миру высших идей, тогда как геометрию он понимал, как нечто среднее между идеями и чувственным миром, считая, что сами геометры не знают, что такое пространство, и вынуждены постулировать, как недоказуемые, исходные положения своей дисциплины.

3. Ко всем построениям физиков Платон относился, как к более или менее правдоподобным мнениям или мифам, считая таковыми и космологические представления. Тем не менее, он предложил свой миф, к которому, впрочем, не относился достаточно серьезно. Этот миф был выдержан в присущем Платону диалектическом духе. Над всем миром ставился его создатель — Демиург, который располагал двумя началами: *материальным* — бесформенным субстратом, служившим материалом для строительства, и *идеальным* — образцом, «первообразом», взирая на который создатель мог сотворить мир. Материю Платон именовал «восприемницей», «кормилицей», иногда — матерью всего, что возникает в чувственном мире. Таким образом, в космологии Платона выделялось «то, что рождается, то, внутри чего совершается рождение, и то, по образцу чего возрастает рождающееся». Воспринимающее начало (материя) уподоблялось матери, образец — отцу, а получающийся в итоге мир — ребенку.

Таким образом, в физическом «дольнем мире» у Платона уже было введено понятие *материи* как субстрата, лишенного каких-либо качеств, в который должно быть нечто привнесено, чтобы он превратился в известные формы вещества, в тела. Кроме того, Платон выделял понятие *пространства*, в котором он видел лишь предпосылку существования геометрических объектов.

Возвысив математику над материальным миром, Платон рассуждал о правильных многогранниках, как о сущности природных элементов.

Во второй половине XX века это оказалось созвучным групповому подходу в физике элементарных частиц, когда фундаментальные физические взаимодействия и виды элементарных частиц связывают с группами внутренних симметрий. Данное обстоятельство позволило В. Гейзенбергу, С. Вайнбергу и некоторым другим утверждать, что физика XX века движется в направлении идей Платона. Так, Вайнберг писал: «Материя, таким образом, теряет центральную роль в физике: все, что остается, — это принципы симметрии и поведение волновых функций при преобразованиях симметрий» [17].

Иной повод обратиться к взглядам Платона дала теория физических структур, представлявшая собой универсальную алгебраическую теорию отношений между элементами произвольной природы. Ее автор Ю. А. Кулаков предлагает интерпретировать свою теорию в платоновском духе, т. е. как программу, по которой был создан материальный мир (см. главу 11).

1.3. Учения материалистов: от Фалеса до Демокрита

В доаристотелевский период принято различать две ветви развития мысли, обычно называемые идеалистической и материалистической. Первая из них была представлена школами Пифагора и Платона, а вторая — школой Фалеса и учением Демокрита. Обе эти ветви развивались в рамках одной и той же дуалистической философско-религиозной метафизической парадигмы, опирающейся на идеальное и материальное начала. Можно даже утверждать, что методологические парадигмы в этих двух ветвях были близки друг другу, однако физическая (естественнонаучная) парадигма у них оказалась разной. Напомним, в школе Платона монистическая диалектическая парадигма мира высшей реальности привлекалась для описания и материального «дольнего» мира, понимавшегося лишь как тень «горнего» мира, тогда как в материалистической ветви физический мир приобрел самостоятельный, если не доминирующий, характер, строился на своей собственной метафизической парадигме, которая в учении Демокрита уже отличалась от монистической парадигмы Платона. Из диалектической она стала *дуалистической парадигмой, опирающейся на две метафизические категории: атомов (частиц) и пустого пространства (и времени)*. Однако эти две категории физики соответствовали двум сторонам единого первоначала (диалектической) методологической парадигмы: атомы можно было трактовать как бытие, а пустое пространство — как его диалектическую противоположность, т. е. небытие.

Рассмотрим некоторые этапы в развитии метафизики материального (физического) мира.

Начало материалистической ветви философии было заложено основателем милетской школы Фалесом (VI в. до н.э.), утверждавшим, что вода является материальной основой всех вещей и своего рода первичной субстанцией. Видимо, эти взгляды были навеяны метереологическими наблюдениями, свидетельствующими о том, что вода может находиться в трех агрегатных состояниях. Как подчеркивал Ницше, в учении Фалеса нашли свое отражение три философские идеи. Во-первых, это идея о материальной основе всех вещей, во-вторых, это требование рационального подхода без ссылок на мифы и, в-третьих, убеждение в возможности понять мир, исходя из единого исходного принципа [33].

Анаксимандр (ок. 610–546 гг. до н.э.), ученик Фалеса, обобщил взгляды своего учителя, отвергнув мысль о воде или о какой-либо иной известной субстанции как первоматерии. Он полагал, что таковой является некая абстрактная, бесконечная, неизменная, вечная и заполняющая весь мир субстанция. Его философия была дуалистической, основанной на антитезе: бытие и становление, где первоматерия олицетворяла бытие, а известные виды субстанции проявлялись через процесс становления из первоматерии.

Анаксимен (VI в. до н.э.), ученик Анаксимандра, в какой-то степени сделал шаг назад, вернувшись к мысли связать первоматерию с известной субстанцией и предложил считать в качестве таковой воздух. Именно ему принадлежит идея о превращениях первоматерии (воздуха) посредством сгущения и разрежения.

В учении Гераклита (540–480 гг. до н.э.) была предпринята попытка представить первоматерию в виде чего-то осязаемого и вложить в нее при этом нечто большее. В качестве первоматерии предлагалось считать огонь, который одновременно выступал и как движущая сила всего сущего. Первооснова мира понималась Гераклитом как всеобщая борьба между противоположностями, составляющими единое целое.

Один из создателей квантовой теории и современного физического видения мира В. Гейзенберг писал: «Мы теперь можем сказать, что современная физика в некотором смысле близко следует учению Гераклита. Если заменить слово «огонь» словом «энергия», то почти в точности высказывания Гераклита можно считать высказываниями современной науки. Фактически энергия — это то, из чего созданы все элементарные частицы, все атомы, а потому и вообще все вещи. Одновременно энергия является движущим началом. Энергия есть субстанция, ее общее количество не меняется, и, как можно видеть во многих атомных экспериментах, элементарные частицы создаются из этой субстанции. Энергия может превращаться в движение, в теплоту, свет и электрическое напряжение. Энергию можно считать первопричиной всех изменений в мире» [33, с. 30].

Далее следует назвать Парменида (конец VI–V в. до н.э.), который вернул на некоторое время в греческую философию понятие «единого», но высказывался против идеи становления и уничтожения и отрицал существование пустого пространства как такового.

Эмпедокл (490–430 гг. до н.э.) использовал прием, который впоследствии будет многократно применяться в метафизике и физике: он перешел от монизма к своеобразному плюрализму, предложив рассматривать в качестве первоэлементов не один, а четыре элемента: землю, воду, воздух и огонь. Таким образом он смог избежать многих трудностей предшествующих учений и добиться некоего компромисса. Позже этот прием найдет свое место в метафизике Аристотеля, который ввел 10 ключевых категорий, т. е. больше, чем у его предшественников. В новой физике аналогичным образом поступил И.Ньютон, перейдя от монистического учения Декарта к механике с самостоятельными категориями пространства, тел и сил.

С тех пор вопрос о едином первоэлементе, лежащем в основе мироздания, или о некотором множестве элементов, составляющих материю мира, является одним из важнейших в естествознании. В частности, он встал перед атомистами рубежа XIX и XX веков после открытия периодической таблицы Менделеева, включавшей множество элементов, и оставался актуальным в прошлом веке.

Любопытно отметить, что превращения и эволюцию мира Эмпедокл описывал с помощью своеобразного прообраза сил притяжения и отталкивания, каковыми у него были (духовные) понятия любви и вражды.

Анаксагор (500–428 гг. до н.э.), современник Эмпедокла, исчерпал оставшуюся возможность в решении этой проблемы: он отказался от идеи построения учения на основе одного или нескольких (четырех) первоэлементов, допустив, что первоэлементов («семян» в его понимании) бесконечно много и все видимые субстанции содержат их в себе в различных пропорциях.

Отметим, что Анаксагор предпочел рациональный подход духовному и заменил понятия любви и вражды, объединяющих или разделяющих первоэлементы у Эмпедокла, на понятие «нуса», которое может быть переведено как «ум».

Понятие материального атома было введено в учениях Левкиппа (V в. до н.э.) и Демокрита (460–380 гг. до н.э.), сформировавших качественно иное, по сравнению со школами Пифагора и Платона, мировоззрение. По свидетельству Диогена, Платон до такой степени был не согласен с учением Демокрита, что высказывал намерение сжечь все его труды.

Атомистическое учение Демокрита, предназначенное для описания явлений физического мира, существенно возвысило роль физики в градации дисциплин.

Физическая парадигма учения Демокрита является *дуалистической*: две полярные стороны методологической монистической парадигмы — «бытие» и «небытие» — заменены у него понятиями атомов и разделяющей их пустоты. По-видимому, на Демокрита самым существенным образом повлияли парадоксы Зенона и он попытался решить вопрос о возможности движения, введя в физический мир иную, чем у школы Пифагора, предпосылку: существует не только бытие, но и небытие.

Демокрит переработал пифагорейское понятие единицы (монады), имевшее расплывчатый характер, превратив его в атом — мельчайшую материальную частицу, обладающую очень малым, но конечным размером. Таким образом была *выделена метафизическая категория частиц*, получившая право на существование в физике лишь в XX веке после известных экспериментов Резерфорда. Одновременно с этим отрыв пустоты от материи означал определение *пространства как второй самостоятельной метафизической категории*.

С введением атомов встал вопрос об их сцеплении (взаимодействии) и об образовании из них протяженных тел, обсуждения и варианты решения которого пронизывают всю дальнейшую историю физики.

1.4. Метафизика Аристотеля

Справедливо считается, что Аристотель (384–322 гг. до н.э.) создал систематическую науку о природе, т. е. физику, поставив во главу угла понятие движения, а не «статические связи и отношения», которые изучаются математикой. Известная картина Рафаэля «Афинская школа», где изображены Платон, указывающий перстом на небо, и Аристотель, простирающий руку к земле, отражает суть расхождения их учений. Перейдем к изложению основных положений метафизики Аристотеля.

1.4.1. Метафизика в учении Аристотеля

1. В системе Аристотеля была иная, нежели у Платона, иерархия дисциплин. На первом месте, как и у Платона, была философия, но на второе место он ставил физику, причем «Метафизика» [1] писалась Аристотелем параллельно с его «Физикой» для обоснования последней. Математика же у него занимала подчиненное, производное от физики, третье место, поэтому математические объекты не получили самостоятельного статуса в мире высших идей, как у Платона, а являются лишь отражениями соответствующих свойств физических тел. «Геометр, — писал

Аристотель, — помещает отдельно то, что в отдельности не дано». У него числа характеризовали не непосредственно объекты материального мира, как у Пифагора и Платона, а лишь отношения между ними. В соответствии с этим в качестве единицы могли выступать разные объекты, в зависимости от того, с чем производилось сравнение. У Аристотеля уже материальный мир не являлся тенью мира идей, как это было у Платона.

Можно утверждать, что учение Аристотеля также опирается на дуалистическую философско-религиозную парадигму, однако у него имеются существенные отличия от системы Платона в парадигмах обеих составных частей: идеального и материального начал.

2. В методологической части учения Аристотеля первой и важнейшей является отсутствовавшая у Платона «*категория сущности*», которая фактически представляет собой третью сторону бытия (первоосновы мира), превращая его философию из двуединой (диалектической), каковой была философия Платона, в *триединую*.

Аристотель утверждал, что действительное бытие предмета не может быть выражено одновременной реализацией двух противоположностей, т. е. платоновские противоположности нужно опосредовать чем-то третьим. Для решения этого вопроса он ввел *два вида бытия — действительное и возможное*. Противоположные стороны (как в учении Платона) присущи предмету только как потенциальные возможности, тогда как действительность стоит выше возможности и не имеет ее двух сторон. Это напоминает введение третьего, промежуточного, звена между *инь* и *ян* в китайской «Книге перемен».

Аристотель отказался от платоновского метода доказательств «по кругу», когда противоположные начала определяются друг через друга. Он настаивал на том, что не все в науке может быть доказуемым. Должны быть первые, исходные, начала, которые не доказываются, а принимаются непосредственно. Аксиоматический метод рассуждений, соответствующий взглядам Аристотеля, а не Платона, был применен Евклидом для построения геометрии и является общепринятым до наших дней.

Триединая философия Аристотеля была нацелена на определение движения тел в физическом мире. В соответствии со своей методологической парадигмой, Аристотель определяет движение как «средний термин», т. е. как «переход» от возможности к действительности. У него движение нормировано двумя противоположностями в возможности — началом и концом — и всегда идет «от» — «к», представляя собой нечто третье — действительность, связывающую две стороны противоположности. Так Аристотель преодолел неразрешимую для Платона проблему определения движения лишь на основе двух противоположных сторон.

Отметим, что аристотелевские два рода бытия — в возможности и в действительности — оказались востребованными в теоретической физике XX века при формулировке квантовой механики, на что обращал внимание один из ее создателей — В. Гейзенберг.

3. В наиболее концентрированном виде космология Аристотеля выглядит следующим образом. Мир вечен, т. е. не имеет ни начала, ни конца во времени. (Удивительно, что этот тезис, противоречащий представлениям христианства, позволил сосуществовать системе Аристотеля с доктриной Церкви на протяжении многих веков.) В пространственном смысле космос конечен. В центре мира расположена Земля, вокруг которой вращается Небо со всеми его светилами. Все тяжелые тела стремятся к покоящемуся центру Земли; к Небу же, напротив, устремляются более легкие по своей природе стихии.

Небесные тела совершают (естественное) вечное круговое движение, определяемое тем центром, вокруг которого, стремясь уподобиться его неподвижности, они совершают равномерное вращение. Из-за конечности космоса только круговое движение может быть непрерывным и продолжаться бесконечно: бесконечная прямая линия в конечном космосе невозможна. «Именно круговое движение, — пишет Аристотель, — является единым и непрерывным, а не движение по прямой, так как по прямой определены и начало, и конец, и середина,(...) так что есть место, откуда может начаться движение и где окончиться. (...) В круговом же движении ничто не определено: почему та или иная точка будет границей на круговой линии? Ведь каждая точка одинаково и начало, и середина, и конец. (...) Поэтому шар движется и в известном отношении покоится, так как он всегда занимает то же место. Причиной служит то, что все это вытекает из свойств центра: он является и началом, и серединой, и концом всей величины, так что вследствие его расположения вне окружности негде движущемуся телу успокоиться, как вполне прошедшему; оно все время движется вокруг середины, а не к определенному концу. А вследствие этого целое всегда пребывает в известного рода покое и в то же время непрерывно движется» [1, Физика, VIII, 265a–265b].

1.4.2. Характерные черты физики Аристотеля

Аристотель не смог описать физику только на основе трех сторон единой сущности, и ему понадобилось ввести ряд дополнительных категорий, оказавшихся впоследствии уязвимыми. Остановимся лишь на некоторых характерных чертах его физики, сопоставив их с тремя ключевыми физическими категориями XX века.

1. Аристотель отрицал существование пустоты, не допускал понимания места как пустого промежутка между телами, как это делали атомисты. Он считал, что место всегда заполнено какой-то средой, например, воздухом. Всякое перемещение Аристотель понимал как обмен местами, занимаемыми телом и средой, аналогично тому, как это происходит в воде при движении рыбы. В этом вопросе его взгляды близки платоновским. С позиции сегодняшнего дня это не что иное, как субстанциальный подход к природе пространства.

2. Для определения движения необходимо понятие времени. Аристотель, подчеркивая трудности в определении этого понятия, резко возражал против его определения через вращения мира или небесных сфер, как это пытались делать до него, но тем не менее тесно связывал понятие времени с движением.

3. Аристотель считал, что все материальные сущности в подлунном мире состоят из четырех элементов: земли, воды, воздуха и огня. Надлунный мир построен из пятого элемента — эфира, который значительно тоньше всех подлунных стихий и потому служит материей небесных тел.

4. Аристотель не признавал самодвижения, полагая, что для всякого (неестественного) движения должен быть двигатель. Для брошенного тела таким двигателем, как он считал, является среда. Согласно Аристотелю, человек, бросающий предмет, приводит в движение не только его, но и среду, в которой предмет находится. Оторвавшись от руки, предмет продолжает движение под действием непосредственно соприкасающейся с ним среды.

5. Понятие естественности мест означает наделение тел и мест некими динамическими свойствами. У Платона материя лишена динамических свойств; у Аристотеля она динамична и обладает способностью к изменению, место также динамично и обладает некой силой, заставляя перемещаться объекты в «естественные» для них места, например, огонь — вверх, а весомые тела — вниз.

Впоследствии мысль о динамических свойствах места (пространства-времени) окажется воплощенной в общей теории относительности.

6. Аристотель различал четыре вида движения: *в отношении сущности* — возникновение и уничтожение; *в отношении количества* — рост и уменьшение; *в отношении качества* — качественные изменения; *в отношении места* — перемещение. Полагалось, что ни один из этих видов движения не может быть сведен к другому.

В XX веке различные аристотелевские виды движения проявились при построении квантовой теории. Так, свободные перемещения микрочастиц в пространстве (в отношении места) описываются первично квантованной теорией, тогда как другие виды движения (сущности, качества и количества) описываются вторично квантованной теорией поля.

1.4.3. Изъяны «здравого смысла» в учении Аристотеля

Система физических (метафизических) представлений Аристотеля просуществовала (не без некоторых изменений и уточнений) почти два тысячелетия — с IV века до н.э. до XVI века. Если отвлечься от философии, то это можно объяснить ее соответствием «здравому смыслу» естественнонаучных представлений античности и средневековья. Многочисленные разграничения и барьеры, увековеченные системой Аристотеля, выглядели естественными и не вызывающими сомнений. Назовем главные из них.

1. Был установлен жесткий водораздел между небесным и земным, надлунным и подлунным мирами. При этом надлунный мир был воплощением вечного порядка и неизменных движений, а подлунный — отличался непостоянством и изменчивостью.

2. Природа — фюзис — мыслилась через противопоставление ее неприродному, искусственному, тому, что носило название «техне» и было продуктом человеческих рук. В частности, механика не признавалась наукой, а рассматривалась как особый род механического искусства, занимающегося созданием инструментов и механизмов, которых нет в природе.

3. Постулировалось два вида движения: естественное (круговое), вечное, не требующее каких-либо источников, и насильственное, совершаемое вследствие каких-либо причин (двигателями).

4. Выделялось пять видов стихий, составляющих сущности как подлунного, так и надлунного миров.

5. Определялось четыре вида причин: формальная, целевая, действующая и материальная. Задача физики сводилась к тому, чтобы дать ответ на вопрос «почему?», указав на одну из названных четырех причин (или их комбинацию).

1.5. Преодоление «здравого смысла» античности

В переходный период от античности к новому времени, отстоящему от нее на полтора тысячелетия, произошли чрезвычайно серьезные изменения в философско-религиозной сфере. Дуалистическая парадигма античности, опирающаяся на идеальное и материальное начала, претерпела существенные изменения: идеальное начало в ней уступило место началу духовному. Это вызвало глубокие изменения в сознании, — необходимо было сопрячь в новой философско-религиозной парадигме отдельные метафизические парадигмы духовного и материального начал. Этот процесс растянулся на несколько веков и потребовал огромных усилий.

Но одновременно шел и другой процесс. Поскольку более ранние античные учения достигли больших успехов в объяснении явлений материального мира, необходимо было как-то согласовать их с новым мировоззрением. В результате острых дискуссий, где обсуждался вопрос о приоритете идеального (разумного) или духовного начал, был найден некий компромиссный вариант: учение «язычника» Аристотеля было совмещено с христианской парадигмой и канонизировано западной христианской Церковью, несмотря на ряд расхождений в них. Возможность такого компромисса можно объяснить, во-первых, тем, что дуалистическая структура (парадигма) христианского учения (Бог и тварный мир) соответствовала аристотелевскому разделению мира на «надлунный» и «подлунный», а, во-вторых, тем, что триединый характер философии Аристотеля, если ее отнести к «надлунному» (божественному) миру, фактически был созвучен христианскому догмату Святой Троицы. Язычество же Аристотеля, проявлявшееся в его понимании подлунного мира со множеством категорий и разграничений, не беспокоило Церковь.

Заметим, что в течение полутора тысяч лет неоднократно ставился вопрос: какое учение античности — Платона или Аристотеля — ближе христианской идеологии? У Платона, как и в христианстве, приоритет отдавался «горнему» миру (миру высшей реальности), но использовалась диалектика, тогда как аристотелевская триединая философия соответствовала догмату Святой Троицы, но отличалась другим соотношением материального и высшего миров. Аристотелево учение с триединством методологической парадигмы одержало верх. Соотношение высшего и низшего миров оказалось менее важным.

Параллельно заметим, что именно увязка естественнонаучных понятий (категорий) с философско-религиозными представлениями о «высших» и «низших» мирах была наиболее уязвимой: начиная с XV века, открытия в естествознании стали весомо свидетельствовать о единстве закономерностей в «надлунном» и «подлунном» мирах, что заставило пересмотреть положения аристотелевского учения.

I. Переход от средневековой к новоевропейской философии был ознаменован деятельностью Николая Кузанского (1401–1464), который, стремясь преодолеть два начала в диалектике Платона (неоплатоников), выдвинул философскую формулу «тождества противоположностей», из которой следовало, что «единому ничто не противоположно», т. е. «единое есть все». Философско-религиозная метафизическая парадигма, в полной мере отвечающая этой формуле, может быть лишь монистической, т. е. мир высшей реальности из учений античности должен быть отождествлен с материальным (дольним) миром. Так возникло пантеи-

стическое учение, получившее дальнейшее развитие у Джордано Бруно. Очевидно, что этот подход противоречил традиционной средневековой христианской теологии, которая исходила из принципиальной идеи различения творения и Творца.

Пантеистические идеи Кузанского привели к необычным для того времени выводам. Поскольку единое (из учения античности) отождествлялось с беспредельным, то само становилось бесконечным, т. е. материальная вселенная полагалась бесконечной, а, следовательно, в ней не должно быть ни начала, ни центра, ни конца. Этим выводом фактически были созданы философские предпосылки для великих открытий в астрономии и в физике, которые будут сделаны Николаем Коперником.

II. Вплоть до средних веков естественнонаучные представления о мире опирались на геометрию Евклида, астрономическую систему Птолемея и физику Аристотеля. Как известно, астрономическая система Птолемея, соответсвовавшая космологии Аристотеля, описывала вращения небесных тел вокруг единого центра — Земли — по круговым орбитам (циклам). Поскольку круговые орбиты не соответствовали реальным наблюдениям, они подправлялись дополнительными круговыми орбитами — эпициклами — до получения соответствия с астрономическими наблюдениями.

Взамен геоцентрической системы Птолемея Николай Коперник (1473–1543) выдвинул идею гелиоцентрической системы мира. В «Малом комментарии относительно установленных гипотез о небесных движениях» Коперник сформулировал семь постулатов с целью «найти какоенибудь более рациональное сочетание кругов, которым можно было бы объяснить все видимые неравномерности» в движении небесных тел, объясняемые тогда с помощью системы эпициклов.

Среди постулатов Коперника были утверждения, согласно которым Земля является центром лишь лунной орбиты, а Солнце — центром земной орбиты и орбит других планет, центр же мира находится возле Солнца. Однако, в них сохранялись представления о небесной тверди (границе мира), причем указывалось, что расстояние от Солнца до нее значительно больше расстояния от Земли до Солнца. Постулаты Коперника оказались в вопиющем противоречии не только с астрономической системой Птолемея, но и со всей системой физики Аристотеля.

Во-первых, система Коперника противоречила античному *разделению мира на «надлунную» и «подлунную» части*. Земля с ее подлунным миром оказывалась в одном ряду с другими планетами «надлунного» мира.

Во-вторых, ставилось под сомнение аристотелевское *разделение на естественное и насильственное движения*.

В-третьих, подвергались сомнению аристотелевские *представления о пяти стихиях, в частности, о выделении эфирной стихии.* По Аристотелю, круговые, т. е. естественные, движения совершают только небесные тела, являющиеся эфирными. Нельзя же было допустить эфирную природу Земли. Она, по определению, состоит из других четырех стихий.

В-четвертых, система мира Коперника разрушала аристотелевское (античное) *разграничение понятий абсолютного покоя* (естественного состояния) *и движения*, что явилось чрезвычайно важным обстоятельством для дальнейшего развития физики. По сути дела, учением Коперника были заложены предпосылки для будущей теории относительности в физике. Как известно, Галилей, являвшийся автором одноименного принципа относительности в механике Ньютона, существенно опирался на труды Коперника.

На противопоставление геоцентрической системы мира Аристотеля—Птолемея и гелиоцентрической системы Коперника можно смотреть, как на выбор одной из двух (неинерциальных) систем отсчета, связанных с Землей и с Солнцем. Современная физика допускает использование как этих, так и множества других систем отсчета. Описания всех явлений сейчас можно пересчитать из одной системы отсчета в другую. Но во времена Коперника, во-первых, не было теории систем отсчета и, во-вторых, речь шла о соотношении земной и *небесной системы отсчета*, связанной с Солнцем.

Система мира Коперника ставила под удар и ряд других положений в физике Аристотеля. Все это требовало пересмотра и самой философии (метафизики) Аристотеля, точнее, внесения корректив в систему категорий материального мира. Но к пересмотру философской системы Коперник был еще не готов. В своем труде он пытался примирить сформулированные аксиомы с положениями системы Аристотеля, но предложенные доводы выглядели искусственными и неубедительными для современников. Это одна из причин, обусловившая неприятие гелиоцентрической системы Коперника большинством ученых, в том числе и таким выдающимся, каким был, например, Тихо Браге.

Любопытную трактовку этого известного факта предложил выдающийся ученый-прикладник Б. В. Раушенбах: «Большинство ученых европейских, не протестантов в том числе, считали, что гелиоцентрическая система — бред и ерунда, что этого не может быть. И они основывались на очень правильном положении, на том, что практика — критерий истины. Когда сравнивали результаты расчетов движения светил по Птолемею и по Копернику, то у Коперника ошибки в два-три раза больше по величине. Поэтому ученые провозгласили: практика — критерий ис-

тины, мы идем за практикой, то есть за Птолемеем, а Коперник — очень красивая математическая система, не имеющая отношения к делу.

Как мы сейчас понимаем, по Копернику, планеты движутся по кругам, а на самом деле, как показал Кеплер, они движутся по эллипсам. Как только Кеплер объявил, что небесные тела движутся по эллипсам, дал соответствующие формулы, выражения, все перешли на его систему расчетов. Ученым ведь все равно, важно, чтобы хорошо получалось. Астрономия была тогда наука практическая, на ней зиждилась астрология, все требовали гороскопы — князья, богатые и даже небогатые люди, и сам Кеплер составлял гороскопы для очень крупных заказчиков, это было в те времена принято. Для подобной работы, конечно, надо было знать движение светил, это было практически нужным делом, и пока Птолемей был точнее гелиоцентрической системы, пользовались его методом, а когда стала точнее гелиоцентрическая, стали пользоваться ею» [97].

Философские взгляды Николая Кузанского и естественнонаучные идеи Николая Коперника были объединены в системе представлений Джордано Бруно (1548–1600).

III. Переход от физики и философии Аристотеля к новой физике и философии обеспечили труды целой плеяды ученых эпохи Возрождения и нового времени: Леонардо да Винчи, Иоганна Кеплера, Галилео Галилея и других. Среди них особое место принадлежит Галилею, которому удалось устранить целый ряд заблуждений в естественнонаучных представлениях античного мира и, в частности, в учении Аристотеля. Так, он показал важность эксперимента в физике, снял принципиальное различие между физикой (наукой) и механикой (искусством — по Аристотелю), способствовал более тесному сближению математики и физики.

Рассмотрим вклад Галилея в формирование трех ключевых физических категорий и связанных с ними понятий.

Галилей сделал чрезвычайно важный шаг в формировании понятия *материи*, показав, что она может быть описана математическими средствами: «Так как я предполагаю, что материя неизменяема, т. е. постоянно остается одинаковой, то ясно, что такое вечное и необходимое свойство может быть основой для чисто математических рассуждений» (цит. по [31, с. 103]).

Важное значение для механики имело опровержение Галилеем Аристотелевского положения о принципиальном различии между состояниями покоя и равномерного прямолинейного движения материальных тел. Напомним, что в физике Аристотеля движение имеет абсолютный характер относительно, как сейчас следует сказать, единой мировой системы отсчета, в которой раз и навсегда установлено, что такое «верх»,

«низ» и «естественное» положение объекта. У Галилея же положение тел детерминировано относительно других окружающих тел, так же определяется и движение. Можно утверждать, что Галилей вплотную подошел к открытию закона инерции.

Примечательны представления Галилея о причинах, связывающих отдельные частицы в тело. Так, в «Беседах о математических доказательствах» приводятся такие рассуждения: «По моему мнению, связность может быть сведена к двум основаниям: одно — это пресловутая боязнь пустоты у природы; в качестве другого (не считая достаточной боязнь пустоты) приходится допустить что-либо связующее, вроде клея, что плотно соединяет частицы, из которых составлено тело. (...) Так как каждое действие должно иметь только одну истинную и ясную причину, я же не нахожу другого связующего средства, то не удовлетвориться ли нам одной действующей причиной — пустотою, признав ее достаточной?» [там же, с. 66]. Из данного высказывания видно, что Галилей был насколько далек от признания новой физической категории силы (поля переносчика взаимодействий), что из двух названных возможностей выбрал аристотелевский принцип «природа боится пустоты». Видимо, исходя из стремления опереться на меньшее число понятий, Галилей попытался описать взаимодействия, ограничившись понятиями пространства, заполненного материей, и пустоты.

Отметим также его подход к процедуре составления конечного тела из бесконечного множества неделимых частей, не имеющих размера. Здесь Галилей определяет понятие размера из суммирования бесконечного числа точечных объектов, т. е. выводит конечность из своей противоположности — бесконечности. На этот недостаток в представлениях ученого обращали внимание многие исследователи его научного наследия.

1.6. Природа как протяженная субстанция (по Декарту)

В метафизике физики XVII века следует выделить четыре основные школы: Р. Декарта, Г. Лейбница, Х. Гюйгенса и И.Ньютона, положившие начало исследованиям в рамках четырех различных метафизических парадигм (разных видов «метафизики»): монистической (Декарта), двух дуалистических (Лейбница и Гюйгенса) и триалистической (Ньютона). Три первые соответствуют представленным во Введении трем миропониманиям: метафизика Декарта — геометрическому миропониманию, дуалистическая метафизика Г. Лейбница — реляционному миропониманию, тогда как метафизика Х. Гюйгенса заложила основы физического ми-

ропонимания. Метафизика же Ньютона построена на триалистической парадигме, впитавшей в себя достижения трех других физических школ XVII века.

Рене Декарт сформулировал в рамках механистических представлений целостную монистическую систему естествознания, опирающуюся на одну категорию, отчасти соответствующую монотеизму христианского духовного начала. Центральным положением натурфилософии Декарта является произведенное им отождествление материи и пространства. «Пространство или внутреннее место, — пишет он в «Началах философии», — (...) разнится от телесной субстанции, заключенной в этом пространстве, лишь в нашем мышлении. И действительно, протяжение в длину, ширину и глубину, составляющее пространство, составляет и тело. (...) Рассматривая (...) этот камень, мы обнаружим, что истинная идея, какую мы о нем имеем, состоит в одном том, что мы отчетливо видим в нем субстанцию, протяженную в длину, ширину и глубину; то же самое содержится и в нашей идее о пространстве, причем не только о пространстве, заполненном телами, но и о пространстве, которое именуется «пустым» [там же, с. 124].

Рассмотрим, как выглядели в учении Декарта три метафизические категории XX века.

Начиная с Декарта, *материя* из бесформенного субстрата стала телом. Это был существенный вклад в формирование категории частиц, хотя материя по-прежнему отождествлялась у него с пространством и природой. «Под природой, — писал Декарт, — я отнюдь не подразумеваю какой-нибудь богини или какой-нибудь другой воображаемой силы, а пользуюсь этим словом для обозначения самой материи» [там же, с. 126–128].

Декарт фактически сформулировал закон инерции (первый закон Ньютона): «Всякая вещь (...) продолжает по возможности пребывать в одном и том же состоянии и изменяет его не иначе, как от встречи с другими. Отсюда должно заключить, что тело, раз начав двигаться, продолжает это движение и никогда сама собою не останавливается» [там же, с. 129].

Однако у Декарта остались еще рудименты старых представлений о различии состояний покоя и движения тел. Это видно из того, что он считал необходимым с помощью своего второго закона природы (о прямолинейности движения по инерции) ввести специальные гарантии такого движения: «Причина этого закона та же, что и предыдущего. Она заключается в том, что Бог незыблем и что он простейшим действием сохраняет движение материи: Он сохраняет его точно таким, каково

оно в данный момент, безотносительно к тому, каким оно могло быть несколько ранее» [там же, с. 129].

Декарт ввел две пространственные субстанции: материальную и духовную. Первая из них являлась протяженной, т. е. той, которую, собственно говоря, и принято понимать как тело. Но у него была и вторая субстанция — духовная, — которая ответственна за перемещение первой субстанции — тел. Таким образом, у Декарта, как и у Галилея, нет отдельной категории силы, как прообраза категории полей-переносчиков взаимодействий. Все физические понятия: пространства, тела и причины изменения положения тел — Декарт пытался объяснить при помощи лишь одной категории, однако разделенной на две части.

Декарт понимал математику как сугубо интеллектуальную дисциплину, лишенную какой-либо самостоятельной реальности, и превыше всего он ценил алгебру, которой он стремился уподобить арифметику и геометрию.

Монистическая программа Декарта оказала большое влияние на последующее развитие физики, в частности, именно в ее русле была создана общая теория относительности. А. Эйнштейн, анализируя доводы и взгляды Декарта, пришел к выводу, что «общая теория относительности подтверждает все же концепцию Декарта, хотя и другим путем. Декарта привело к его удивительно привлекательной точке зрения сознание того, что без настоятельной необходимости не следует приписывать реальность вещам, подобным пространству, которые не допускают «прямой проверки на опыте» [146, с. 745].

1.7. Метафизика Лейбница

Философия Г. В. Лейбница, представляющая собой своеобразный синтез идей античности, главным образом, системы Аристотеля, и естественнонаучных представлений его времени, сформировалась в полемике с позицией Р. Декарта и его современника И. Ньютона. В отличие от них, Лейбниц описывал физическую реальность на основе двух категорий (начал), из которых одна является своеобразным объединением категорий частиц (материи) и пространства-времени (пространства и времени), а другая — объединением категории частиц с категорией полей переносчиков взаимодействий. В XX веке этой парадигме будет соответствовать теория прямого межчастичного взаимодействия Фоккера—Фейнмана.

Рассмотрим ключевые физические категории в системе взглядов Лейбница.

Материя (тела, вещи), согласно метафизическим представлениям Лейбница, имеет двойственную природу: *пассивную* и *активную*. Пас-

сивная природа может быть соотнесена с обобщенной категорией, объединяющей частицы и пространство (и время), а активная природа — с обобщенной категорией, объединяющей частицы и поля переносчиков взаимодействий.

О пассивной природе материи Лейбниц писал: «Материя, взятая в себе, т. е. голая, образуется через антитипию и протяженность. Антитипией я называю тот атрибут, через который материя находится в пространстве, т. е. непрерывное распространение по месту. И вот, когда антитипия непрерывно расходится, или растягивается по месту и ничего другого не предполагается, возникает материя сама по себе, или голая. Модификация, или изменяемость, антитипия состоит в изменяемости места. Модификация протяженности состоит в изменяемости величины и фигуры. Отсюда очевидно, что материя есть нечто чисто пассивное, ибо ее атрибуты и их видоизменения не содержат в себе никакого действия. И поскольку в движении мы рассматриваем только перемену места, мы не усматриваем в нем ничего, кроме чисто пассивного» [71, с. 383].

Пространство и время Лейбниц не считал самостоятельными категориями, не зависящими от материи, как это было у Ньютона. Он полагал, что без тел не было бы и пространства и времени. Его понимание их сущности отражено в полемике с С. Кларком: «...Ссылаются на пример, который встречается как раз в одном из моих доказательств против *реального абсолютного пространства*, этого идола некоторых современных англичан (здесь, в частности, подразумевается И. Ньютон — Ю. В.). Я говорю здесь об идоле не в богословском, а в философском смысле. (...) Я неоднократно подчеркивал, что считаю *пространство*, так же как и время, чем-то чисто относительным: пространство — *порядком сосуществования*, а время *порядком последовательностей*. (...) Для опровержения мнения тех, которые считают пространство субстанцией или по крайней мере какой-то абсолютной сущностью, у меня имеется несколько доказательств» [71, с. 441]. Не будем здесь останавливаться на любопытных доводах Лейбница, которые несут на себе печать той эпохи. В другом месте он писал на эту же тему: «Г-н Ньютон кроме материи допускает пустое пространство, и, по его мнению, материя занимает лишь малую часть пространства. Однако Демокрит и Эпикур утверждали то же самое, немногим отличаясь при этом от г-на Ньютона, и, по их мнению, пожалуй, материи в мире больше, чем по Ньютону. (...) Наряду с другими соображениями я придерживаюсь того мнения, что пустого совсем нет» [71, с. 434].

В связи с пониманием Лейбницем сути пространства следует сказать и о его отношении к геометрии, особенно к аксиоматике геометрии. Он не был удовлетворен аксиоматикой Евклида, считая сформулированные им аксиомы вторичными из-за того, что они опираются не только на разум,

но и на воображение: «Я давно уже заявлял, что было бы важно доказать все наши вторичные аксиомы, которыми обычно пользуются, сведя их к *первичным*, или непосредственным, и недоказуемым аксиомам, представляющим то, что я (...) назвал *тождественными* положениями. (...) Я убежден, что для усовершенствования наук даже необходимо доказывать некоторые предложения, называемые аксиомами» (цит. по [31, с. 265]).

Особо следует выделить отношение Лейбница к пятому постулату Евклида о параллельных линиях: «Евклид отнес к числу аксиом положение, что две прямые могут пересечься лишь один раз. Воображение, опирающееся на чувственный опыт, не позволяет нам представить более одного пересечения двух прямых; но не на этом следует строить науку, и если кто-нибудь думает, что воображение дает связь отчетливых идей, то это показывает, что он недостаточно осведомлен относительно источника истин, и множество предложений, доказываемых посредством других, предшествующих им предложений, должны им считаться непосредственными» [там же, с. 265]. Эти слова оказались пророческими. Спустя сто с лишним лет Б. Риманом была открыта сферическая геометрия (геометрия постоянной положительной кривизны), в которой две кратчайшие линия обязательно пересекаются дважды.

Взаимодействия (активная природа материи). Как писал Лейбниц, «необходимо допустить нечто помимо материи, что было бы началом как восприятия, т. е. действия внутреннего, так и движения, т. е. действия внешнего. Такое начало мы называем субстанциальным, также первичной силой, первой энтелехией, одним словом, душой (anima). Это начало, будучи активным, в сочетании с пассивным составляет полную субстанцию. Очевидно, что оно начало непротяженное, иначе оно содержало бы в себе материальность против нашего предположения, ибо мы показали, что оно представляет собой нечто привходящее в дополнение к материи. Итак, душа — это нечто субстанциальное и простое, не имеющее частей, внеположенных одна другой» [71, с. 384].

Лейбниц полагал, что две природы материи всегда присутствуют слитно: «... души в отдельности от тел в природе не существуют; так как они — первоначальные энтелехии, т. е. чисто активны, то нуждаются в некотором пассивном начале, которое бы их дополнило» [там же, с. 385].

Второе (активное) начало в естественнонаучной картине мира Лейбница играло чрезвычайно важную роль: «Хотя тяжесть и сила упругости могут и должны объясняться из движения эфира, однако последняя причина (ratio) движения материи есть сила, приданная ей при самом ее создании, которая присуща каждому телу, но ограничивается и сдерживается в природе самыми разнообразными столкновениями тел между собой. И я утверждаю, что эта способность действовать присуща вся-

кой субстанции и из нее всегда порождается какое-то движение» (цит. по [31, с. 246]).

Важным моментом в философии Лейбница является его трактовка понятий (самих категорий) в духе редукционизма, т. е. через некоторые конструкции, составленные из более элементарных понятий. Это, прежде всего, относилось к пониманию Лейбницем геометрии, но в значительной степени и к определению наблюдаемой материи. Здесь можно усмотреть начало так называемого ныне макроскопического подхода к природе классического пространства-времени и всей классической физики. Забегая вперед, заметим, что, с позиций макроскопического подхода, привычные понятия геометрии и физики возникают из наложения огромного числа неких факторов, присущих физике микромира.

Согласно Лейбницу, все тела состоят из монад. Сами же монады, в отличие от тел, обладают свойствами, принципиально отличными от механических. Как пишет Лейбниц, они «*необъяснимы причинами механическими*, т. е. с помощью фигур и движений». Подробный перечень их свойств дан в его «Монадологии» [71].

Учение Лейбница о монадах поднимает множество принципиально важных вопросов, которые созвучны концептуальным проблемам, обсуждавшимся в XX веке в рамках макроскопического подхода к природе классического пространства-времени: Каковы свойства первичных факторов микромира? Каким образом первичные факторы (монады) складываются? Каким образом из свойств первичных факторов возникают общепринятые понятия классической физики и геометрии? Очевидно, что в рамках естественнонаучных представлений того времени невозможно было ответить на эти вопросы исчерпывающим образом, поэтому рассуждения Лейбница носят порой противоречивый характер, что отмечалось многими исследователями его наследия. Например, вызывало недоумение положение о возникновении свойств непрерывности у материальных тел, если образующие их монады составляют дискретное множество. Однако сам факт постановки указанных проблем весьма примечателен.

1.8. Натурфилософия Гюйгенса

В фундамент учения Христиана Гюйгенса была положена другая пара метафизических категорий: пространство (и время) и атомы (частицы), т. е. его взгляды были близки античной концепции атомистов.

В отличие от школы Декарта, Гюйгенс не отождествлял материю и пространство. *Материя (частицы)*, по Гюйгенсу, состоит из неразрушимых, бесконечно твердых атомов. В своем письме Лейбницу он сле-

дующим образом пояснил свою позицию: “Основание, побудившее меня предположить неразрушимые атомы, состоит в том, что я, как и Вы, господин Лейбниц, не могу согласиться с картезианским принципом, что сущность тел состоит только в протяжении. Для того, чтобы тела могли сохранять свою форму и при движении оказывать друг другу сопротивление, я скорее считаю необходимым приписать им непроницаемость и сопротивление любому разделению их частей. Следует допустить, что это сопротивление бесконечно велико» (цит. по [31, с. 191]).

Описание природы света (взаимодействия) в натурфилософии (метафизике) Гюйгенса представляет особый интерес. Говоря о распространении света с чисто атомистических позиций, он считал, что имеются атомы двух сортов. Наряду с более массивными атомами, составляющими тела и другую осязаемую материю, имеются более тонкие атомы, составляющие эфир, — среду, заполняющую пространство между телами. Воздействия от атомов тел передаются атомам эфира, колебания которых распространяются от одного тела к другому и воспринимаются глазом человека как световые явления. “Движение, сообщаемое существу (...) распространяется так же, как и при звуке, сферическими движениями и волнами: я называю эти поверхности волнами по сходству с волнами, которые можно наблюдать на воде, в которую брошен камень, и которые изображают собой указанное постепенное распространение кругами, хотя оно и происходит по другой причине и в плоской поверхности» [там же, с. 197]. Как отмечалось во введении, такой подход соответствует именно физическому миропониманию.

В отличие от Ньютона, Гюйгенс не признавал абсолютное пространство, а считал его чисто относительным. Это его убеждение опиралось на представление о бесконечном пространстве, что, по его мнению, противоречило допущению о его абсолютности: «В бесконечном пространстве ни о каком теле нельзя сказать, что оно движется или что оно покоится. Итак, движение и покой только относительны» [там же, с. 194]. Он не признавал ньютоновской концепции дальнодействия, воплощенной в законе всемирного тяготения.

Натурфилософия Гюйгенса опиралась на прочный фундамент его физических разработок, главным образом, на его теоретические исследования процессов соударения твердых тел. Он отмечал, что “Большинство писавших по вопросам, касающимся разных отделов оптики, довольствовались тем, что просто принимали эти истины заранее. Но некоторые, более любознательные, стремились *выяснить происхождение и причины этих истин*, рассматривая их самих как замечательные проявления природы» [там же, с. 196]. Он был убежден, что объяснить «происхождение и причины этих истин» оптики можно только на базе философии.

Так в своей книге «Трактат о свете» он писал: «Я постараюсь в этой книге с помощью принципов, принятых в современной философии, дать более ясные и более правдоподобные объяснения, во-первых, свойствам прямо распространяющегося света, во-вторых, свойствам света, отражающегося при встрече с другими телами» [там же, с. 196]. При этом он полагал, что истинная философия, это та, «в которой причину всех естественных явлений постигают при помощи соображений механического характера. По моему мнению, так и следует поступать, в противном случае приходится отказаться от всякой надежды когда-либо и что-нибудь понять в физике» [там же, с. 196]. В XVII веке прочно можно было опереться лишь на механику.

1.9. Математические начала натуральной «философии»

Знаменитый труд И. Ньютона, вышедший в свет в 1687 году [85], фактически определил развитие физики на протяжении более двух веков. Некоторые даже утверждают, что написание «Математических начал натуральной философии» было обусловлено его стремлением рациональными методами доказать бытие Бога. Во всяком случае, попытка связать науку и религию (теологию) естественна для человека, который был не только великим ученым, но и видным теологом своего времени. Введя понятие абсолютного пространства как «чувствилища Бога», которое связывает все тела мира в единый универсум, Ньютон разрушил невидимый барьер, существовавший между Богом и сотворенным им миром.

В связи с этим следует напомнить высказывание Ньютона о понимании им абсолютного пространства: «Не там ли чувствилище животных, где находится чувствительная субстанция, к которой через нервы и мозг подводятся ощутимые образы предметов так, что они могут быть замечены вследствие непосредственной близости к этой субстанции? И если эти вещи столь правильно устроены, не становится ли ясным из явлений, что есть бестелесное существо, живое, разумное, всемогущее, *которое в бесконечном пространстве, как бы в своем чувствилище*, видит все вещи вблизи, прозревает их насквозь и понимает их вполне благодаря их непосредственной близости к нему» [31, с. 233].

Ньютон видел как в пространстве (и времени), так и в силах гравитационного взаимодействия нечто, не укладывающееся в рамки механических (физических) воззрений его времени и, будучм не в состоянии дать ответ на мучавшие его вопросы, склонялся к мистическим религиозным решениям, а на самом деле — к метафизическому решению, объ-

явив пространство (-время) и силы (взаимодействия) самостоятельными категориями. (Эти же вопросы мучили и многих других исследователей на протяжении последующих веков вплоть до наших дней.)

Фактически И.Ньютон повторил ход Эмпедокла, но не в выборе числа первоэлементов материи, а в количестве ключевых физических категорий. Можно сказать, что в естествознании христианский богослов Ньютон сделал шаг назад от христианского монизма Декарта к языческому политеизму. История показала, что для того времени этот шаг оказался чрезвычайно плодотворным.

И.Ньютон оторвал категории пространства и времени от категории *материи*, объявив их существование «безотносительно к чему бы то ни было внешнему», однако при этом он фактически удвоил эти категории, признавая эквивалентность относительных пространств, связанных с инерциальными системами отсчетами, но тем не менее настаивая на существовании еще и абсолютного пространства (и времени).

Последнее противоречило взглядам Р. Декарта. С Ньютоном были не согласны Хр. Гюйгенс и Г. Лейбниц, резко возражавшие против экспериментально не подтверждаемых абсолютного пространства и абсолютного движения. На поиски движения относительно абсолютного пространства было затрачено много усилий физиков во второй половине XIX века. Как известно, они закончились безрезультатно.

На рубеже XIX и XX веков ньютонову механику критиковал Э. Мах, призывая пересмотреть ее основные положения. Тем не менее он считал, что предпринятая Ньютоном «рискованная попытка отнести всю динамику к абсолютному времени (и пространству)» являлась тогда «безвредной». Мах, обращая внимание на то, что «это в течение долгого времени ускользало от серьезной критики» (имелся в виду XIX век), призывал пересмотреть эти и другие основания ньютоновой механики.

Сила в понимании Ньютона есть то, что изменяет характер прямолинейного равномерного движения материальных тел. Истоки понятия силы можно обнаружить уже в трудах Кеплера и других его предшественников, но как самостоятельное понятие физики оно вошло с трудами Ньютона.

Остановимся на понимании категории силы в связи с гравитационным взаимодействием, наиболее хорошо известным в то время. Ньютон писал: «Я изъяснил небесные явления и приливы наших морей на основании силы тяготения, но я не указывал причины самого тяготения. Эта сила происходит от некоторой причины, которая проникает до центра Солнца и планет без уменьшения своей способности и которая действует не пропорционально величине поверхности частиц, на которые она действует (как это обыкновенно имеет место для механических

причин), но пропорционально количеству твердого вещества, причем ее действие распространяется повсюду на огромные расстояния, убывая пропорционально квадратам расстояний. (...) Причину же этих свойств силы тяготения я до сих пор не мог вывести из явлений, гипотез же я не измышляю» [31, с. 220].

За последней фразой «гипотез же я не измышляю» кроются многолетние рассуждения Ньютона, а также многочисленные упреки в его адрес со стороны современников и потомков. В те времена полагалось, что воздействия одних тел на другие могут быть объяснены механическими соударениями частиц. Сам Ньютон долгое время пытался объяснить тяготение столкновениями с особыми частицами эфира, но ничего хорошего из этого не получилось. В конце концов он пришел к важному метафизическому выводу, что тяготение и другие взаимодействия обусловлены причинами принципиально иной природы. И. Ньютон в 1704 году в «Оптике» писал: «Мельчайшие частицы материи могут сцепляться посредством сильнейших притяжений, составляя большие частицы, но более слабые; многие из них могут также сцепляться и составлять еще большие частицы с еще более слабой силой — и так в ряде последовательностей, пока прогрессия не закончится самыми большими частицами, от которых зависят химические действия и цвета природных тел; при сцеплении таких частиц составляются тела заметной величины. Таким образом, в природе существуют агенты, способные сжимать вместе частицы тел весьма сильными притяжениями. Обязанность экспериментальной философии их разыскать» (цит. по [35, с. 8]).

Только в XX веке были введены предсказанные Ньютоном агенты в связи с рассмотрением четырех видов фундаментальных физических взаимодействий: гравитационного, электромагнитного, слабого и сильного.

С позиций сегодняшнего дня, совершенное Ньютоном следует понимать, как введение новой метафизической категории. В те времена она трактовалась как сила. Затем было понято, что для гравитационной и ряда других сил, можно ввести понятие потенциала, определенного в каждой точке пространства, а это уже понятие поля переносчиков взаимодействий — самостоятельная категория, о которой говорилось во Введении.

Таким образом, Ньютон построил физику на основе новой для того времени «метафизики», опирающейся на три метафизические категории. «Позднейшие философы, — писал он в 1706 году, — изгнали воззрения о такой причине из натуральной философии, измышляя гипотезы для механического объяснения всех вещей и отнеся другие причины в метафизику. Между тем главная обязанность натуральной философии — делать

заключения из явлений, не измышляя гипотез, и выводить причины из действий до тех пор, пока мы не придем к самой первой причине, конечно, не механической» [31, с. 222].

Ньютон был метафизиком, несмотря на приписываемые ему слова: «Физика, бойся метафизики!» «Как религиозный мистик, — справедливо заметил В. Д. Захаров, — он нисколько не боялся метафизики, — и только благодаря метафизике его механика имеет и по сей день познавательное значение. Метафизика позволила Ньютону преодолеть прямой феноменологизм как подчинение истине наблюдаемого факта. (...) Очевидно, классическая механика может считаться синтетической наукой только благодаря своим метафизическим основам. Только благодаря им она могла проявить столь потрясающую эффективность — привести к открытию «на кончике пера» планеты Нептун, к предсказанию появления в 1910 году кометы Галлея» [48].

Второй закон Ньютона

$$m\vec{a} = \vec{F} \tag{1.9.1}$$

имеет глубокое метафизическое звучание, — его можно считать символом триалистической парадигмы, так как им связываются характеристики именно трех физических (метафизических) категорий: пространства и времени (ускорение $\vec{a}$), частиц (масса m) и полей переносчиков взаимодействий (сила $\vec{F}$). Анализ отдельных слагаемых во втором законе Ньютона показал, что они имеют смысл лишь в неразрывной связи друг с другом.

1.10. Метафизика XVIII века

В XVIII веке после достижений выдающихся мыслителей предыдущего века, главным образом Декарта, Лейбница, Гюйгенса и Ньютона, спектр миропониманий был выявлен и возможные в то время отношения к трем ключевым категориям физики были определены. В центре внимания оказались вопросы развития физики в рамках названных парадигм.

Исключение составили труды хорватского ученого Руджера Иосипа Бошковича, который попытался построить монистическое учение, отличное от декартова. В данной выше классификации его следует отнести к учению, лежащему на стыке реляционного и физического миропониманий.

Бошкович развивал *атомистическую программу*, где частицы (первоэлементы природы) трактовались как непротяженные точки, являющиеся центрами сил. Он не наделял их свойствами твердости или непроницаемости, как это было у ряда его предшественников.

Бошкович, в отличие от многих других, не относил *пространство* к самостоятельной категории и определял его через понятие *возможности*, тогда как *в действительности* существуют лишь центры сил. Он писал: «Я не признаю никакого сосуществующего континуума. (...) Ибо пространство для меня не есть какой-либо реальный континуум, но только воображаемый». В другом месте он расшифровывает свою позицию: «*В действительности* всегда существует *граница* и определенное число точек и интервалов; напротив, *в возможном* нигде нет конца. Поэтому абстрактное рассмотрение возможностей как раз и порождает в нас идею непрерывности и бесконечности некой воображаемой линии. Но так как сама эта возможность есть нечто вечное и необходимое — ибо от века и необходимо является истиной, что могут существовать эти точки со всеми их свойствами и модусами, — то и *воображаемое*, непрерывное и безграничное пространство есть нечто вечное и необходимое; однако оно *не есть нечто существующее*, а есть простое неопределенное предположение чего-то, *могущего* существовать» [31, с. 208]. Таким образом Бошкович предлагал устранить из физики континуум.

Взаимодействия Бошкович также не относил к самостоятельной категории, считая их внутренним свойством атомов-центров сил. Существенным моментом его воззрений было положение об одновременном присутствии сил притяжения и отталкивания, зависящих от расстояния между точками-центрами сил. На малых расстояниях преобладающими оказывались силы отталкивания, бесконечно возрастающие при уменьшении расстояний, что не позволяло точкам слиться. На больших расстояниях силы отталкивания сменялись силами притяжения, убывающими обратно пропорционально квадрату расстояния, как это имеет место в ньютоновском законе всемирного тяготения.

Историки физики отмечают, что в XVIII веке работы Бошковича, хотя и вызывали восхищение, но последователей практически не имели. Можно сказать, они оказались преждевременными. Значительно больший резонанс его идеи имели в XIX веке.

Ряд метафизических проблем возник в связи с развитием аналитической механики в трудах Жана Батиста Даламбера, Пьера Луи Моро де Мопертюи, Самюэля Кенига и других, превративших в XVIII веке механику в аналитическую дисциплину. Особо следует отметить формирование принципа наименьшего действия, вызвавшего оживленные дискуссии о конечной причине движения, о проявлении через этот принцип «божественных начал» в механике и другие.

В «Трактате по динамике» (1743 г.) Даламбера формулировалась программа перестройки механики на небольшом числе общих принципов метафизического характера. Предлагалось изгнать из оснований меха-

ники «физические принципы и гипотезы», а в «Аналитической механике» (1788 г.) Ж. Лагранжа из механики изгонялись какие-либо ссылки на геометрические представления: «В этой работе вы не найдете рисунков. Излагаемые мною методы не нуждаются ни в построениях, ни в рассуждениях геометрического или механического характера, а лишь в алгебраических операциях, подчиняющихся строгим и однообразным правилам. Тот, кто любит математический анализ, с удовольствием увидит, что механика становится новым разделом анализа, и будет мне благодарен за такое расширение области его применения» (цит. по [77, с. 157]). Это было продолжением линии Декарта по алгебраизации физики.

Другой круг метафизических проблем был связан с описанием тепловых движений. В XVIII веке взгляды на природу теплоты разделились. Если в первой половине века доминирующими были представления о теплоте, как некоем движении малых частиц тела, что отстаивалось в трудах Р.Бойля и Л.Эйлера, то во второй половине XVIII века верх одержали взгляды о субстанциальной природе теплоты. Развивалась теория теплорода, соответствующая картезианской натурфилософии. Ее разделяли Блэк, Марат (ставший впоследствии известным революционером) и другие. В этом же духе развивалась химическая теория «флогистона», предложенная Г. Э. Шталем.

Вообще в то время были довольно распространены идеи о наличии особых субстанций, ответственных за проявления многих физических явлений. Распространение света объяснялось особой эфирной средой, силы гравитационного взаимодействия связывались с гравитационным эфиром, передача теплоты — с перетеканием теплорода и т. д.

Для развития науки в России были важны метафизические позиции М. В. Ломоносова. Известно, что они сложились под влиянием Христиана Вольфа, ученика Лейбница. Во взглядах Ломоносова объединились представления о лейбницевских монадах («Расположение физических монад есть место, в котором любая монада пребывает по отношению к другой») с воззрениями Гюйгенса о природе света. В центре миропонимания Ломоносова была категория частиц (монад), на основе которой давалось определение материи: «Материя есть протяженное непроницаемое, делимое на нечувствительные части» [75, т. 1, с. 107]. Ученый пытался доказать, что «существуют неделимые корпускулы».

Ломоносов говорил о корпускулах двух видов: описывающих известную материю и более тонких корпускулах особой эфирной материи. С помощью эфирных корпускул Ломоносов объяснял ряд понятий и явлений физического мира:

«Эфир — причина сцепления, так как, будучи приведен в движение, уничтожает сцепление» [75, т. 1, с. 153].

«Если бы эфир не был весом, он не входил бы в колокол [воздушного насоса]» [там же, с. 123].

«Колебания эфира дает свет, а не звук; колебание воздуха дает звук, а не свет» [там же, с. 157].

«Необходимо признать, что существует некая материя, своим движением толкающая тяготеющие тела к центру земли» [75, т. 2, с. 197].

Ломоносов, предлагая механизмы описания взаимодействий и сцеплений корпускул, испытывал определенные затруднения: «В трактате о материи надо лишь показать, что сцепление зависит только от величины корпускул, а объяснение отложить на будущее» [75, т. 1, с. 113]. Видимо, это те же сомнения, что испытывал и Ньютон при формулировке закона всемирного тяготения.

1.11. Природа и категории в натурфилософии И. Канта

Отдельно следует остановиться на натурфилософии И. Канта. Главным ее отличием от философии его предшественников была постановка во главу угла не мира, как такового, а познающего его субъекта, в котором следует различать индивидуальную и трансцедентальную стороны. Объективность знания, по Канту, обеспечивается трансцедентальной, т. е. врожденной системой представлений и законов. Отсюда следует и данное Кантом название — транцедентальная философии (идеализма).

В философии Канта выделены *три ключевые начала* субъекта: чувственное восприятие (ощущения), рассудок (организация чувственных восприятий), разум (цель, движущий стимул для рассудка). Легко заметить, что эти начала соответствуют названным выше трем началам философско-религиозных учений: материальному, идеальному и духовному.

Для описания физической реальности в системе Канта наибольший интерес представляет второе из названных начал — рассудок, который конструирует мир на основе четырех групп категорий: количества (всеобщность, множество, единичность), качества (реальность, отрицание, ограничение), отношения (субстанция, причинность, взаимодействие), модельности (возможность, действительность, необходимость). Примечательно, что все три выделенные метафизические категории физики XX века фактически попадают в группу кантовских категорий отношения. Остановимся отдельно на этих категориях.

Материю (в нашей терминологии — частицы) Кант не отождествлял с пространством, как это делал Декарт, а разделял в этом вопросе пози-

цию Ньютона. Он писал: «Материя есть субъект всего того, что может быть отнесено к существованию вещей в пространстве; ведь вне ее нельзя помыслить никакой другой субъект, кроме самого пространства; но пространство есть понятие, еще не содержащее в себе ничего существующего, а содержащее лишь необходимые условия внешнего соотношения между возможными предметами внешних чувств» [31, с. 354]. Таким образом, Кант определяет материю как «предмет внешних чувств», в противоположность пространству и времени, которые являются лишь формой, куда помещается материя.

Особо следует отметить, что материю Кант относил к категории отношений, т. е. считал, что материя представляет собой лишь явление, а не вещь в себе, причем материя, в его понимании, больше соответствовала именно термину субстанция, а не категории частиц. В этом вопросе он был ближе к взглядам Декарта и не соглашался с монадологией Лейбница.

Пространство и время занимают особое место в деятельности рассудка. Ощущения, чувственные восприятия человека рассудком упорядочиваются и укладываются как бы в готовые формы, каковыми являются пространство и время. По Канту, пространство — это априорная форма «внешнего чувства» (или внешнего созерцания), а время — априорная форма «внутреннего созерцания». В естественнонаучном плане, когда рассудок уже упорядочил явления и субстанцию в пространственных и временных отношениях, понятие пространства (материального) у Канта имеет относительный характер и связывается с явлениями и с движущейся субстанцией, т. е. является подвижным. Он отвергает ньютоновское абсолютное пространство и признает лишь относительное, утверждая, что «абсолютное пространство *само по себе* есть ничто и не есть объект».

Кант существенно расходится с Ньютоном в определении *силы* (в нашей терминологии — полей переносчиков взаимодействий). Если Ньютон фактически относил силы к особой категории, то Кант связывал их с материей и со свойствами пространства (с геометрией). Он вводил два типа сил: силы отталкивания, заменяющие свойства непроницаемости материи в учении атомистов, и силы притяжения. Кант считал, что человек своими органами чувств непосредственно может воспринимать только силы отталкивания, тогда как силы притяжения проявляются опосредованно.

С позиций физики сегодняшнего дня, взгляды Канта в этом вопросе ближе всего соответствуют геометрическому видению мира, нашедшему свое воплощение в эйнштейновской общей теории относительности (см. 2-ю часть данной книги).

Наконец, следует остановиться на понимании Кантом *диалектики*. Он считал диалектическое противоречие свидетельством незаконного применения наших познавательных возможностей. Само понятие диалектики характеризуется, таким образом *отрицательно*. С кантовским пониманием диалектики связаны его известные антиномии (противоречия). Согласно Канту, предмет, которому приписываются взаимоисключающие определения, непознаваем. Этим он фактически устанавливает границы познания.

1.12. Уроки метафизики и натурфилософии прошлого

Физика, как и все естествознание, имеет философско-религиозные истоки; она выросла из философско-религиозных учений прошлого и несет в себе их черты. Но самое главное заключается в том, что в физических и в философско-религиозных учениях проявляются одни и те же метафизические закономерности.

1.12.1. Метафизика философско-религиозных учений

1. В философско-религиозных учениях представлены как холистский, так и различные виды редукционистского подхода к мироздании. Холистский подход был характерен для древних учений Востока и для школы Пифагора. В былые времена разные виды членений единого (всего мироздания или его частей), включая холистский подход, ассоциировались с различными метафизиками, которые здесь предлагается назвать метафизическими парадигмами. Имеются монистическая (холистская), дуалистические (членения на две части) и триалистическая метафизические парадигмы, составляющие основы метафизики.

2. Античные учения Платона, атомистов и Аристотеля строились в рамках дуалистической парадигмы, опирающейся на идеальное и материальное начала.

3. В ходе развития философско-религиозных учений выявились три ключевые начала: материальное, идеальное и духовное, на базе которых строятся конкретные философские и религиозные системы.

4. В рамках каждого из философско-религиозных начал проявлялись те или иные метафизические парадигмы, в чем усматриваются истоки принципа фрактальности, сформулированного в настоящей работе.

1.12.2. Метафизика идеального начала

1. В учениях античности для идеального начала характерной являлась монистическая (холистская) парадигма: развивались двуединый (Платон) и триединый (Аристотель) варианты.

2. На неполноту двуединой монистической парадигмы обратил внимание Аристотель, показавший необходимость введения третьей стороны, связывающей две противоположности. Это было осуществлено через понятия возможности и действительности. Противоположности существуют лишь в возможности, тогда как действительность едина. Всякое движение состоит в переходе от возможности к действительности.

1.12.3. Метафизика материального начала

Парадигмы материального начала прошлого послужили прообразом физических (метафизических) парадигм XX века, рассмотрению которых и посвящена данная книга. Следует выделить разработанные в XVII веке четыре физические (метафизические) системы: Декарта, Лейбница, Гюйгенса и Ньютона.

1. Система Декарта явилась монистической, опирающейся на одну обобщенную категорию материи, отождествленной с пространством. Она послужила прообразом парадигмы геометрического миропонимания мира, о чем потом свидетельствовал А.Эйнштейн.

2. Дуалистическая система Лейбница опиралась на две обобщенные категории: материи (частиц), объединенной с категорией пространства (пассивной материи), и материи, объединенной с полями переносчиков взаимодействий (активной материи). Ее можно назвать прообразом теории прямого межчастичного взаимодействия Фоккера—Фейнмана из реляционного миропонимания.

3. Дуалистическая система Гюйгенса опиралась на категорию пространства (-времени) и категорию материи, объединяющей в себе категории частиц и полей переносчиков взаимодействий. Ее можно считать прообразом физического миропонимания.

4. Триалистическое учение Ньютона положило начало теориям триалистической парадигмы XX века. В нем были представлены три ключевые физические категории: вещество (тела), пространство (и время), силы (как прообраз категории полей переносчиков взаимодействий). Соответствующие им три характеристики присутствуют во втором законе Ньютона.

Следует напомнить, что среди представителей западной культуры того времени было немало мыслителей, резко возражавших против расчленения единой природы на отдельные категории. Следует упомянуть

позицию И.Гете, внесшего огромный вклад в мировую культуру как поэт. Мало кому он известен как естествоиспытатель. Свои взгляды на природу он отобразил во многих своих произведениях. Так, в стихотворении «Прочное в семенах» он писал:

«Образ, дивно расчлененный,
Пропадает навсегда.»

Много высказываний по этому вопросу можно найти в его «Фаусте», однако на тот исторический момент правота оказалась за Ньютоном.

1.12.4. Вопросы согласования метафизических парадигм в отдельных началах

1. Уже в античности было обращено внимание на желательность соответствия метафизических парадигм отдельных начал философско-религиозного учения. Такое соответствие постулировалось в дуалистическом учении Платона, где материальный мир (начало) понимался как отражение (тень) идеального мира.

2. Большие проблемы возникли при согласовании учений античности, опирающихся на идеальное и материальное начала, и христианства, опирающегося на духовное и материальное начала. Достигнутый компромисс между учением Аристотеля и христианским богословием, просуществовавший полтора тысячелетия, можно объяснить, во-первых, одинаковым дуалистическим характером их парадигм и, во-вторых, близостью триединства идеального начала в учении Аристотеля и христианского догмата Святой Троицы.

Аналогичные проблем потом возникли в XX веке в попытках объединить квантовую теорию и общую теорию относительности, также представляющие дуалистические парадигмы, но основанные на разных физических категориях.

3. Создатели четырех главных физических систем были естествоиспытателями, вынужденными стать одновременно и выдающимися философами (метафизиками). Постепенно физика вышла из рамок философско-религиозных учений, и ее творцы развивали свои теории, опираясь на новые метафизические парадигмы (новые «метафизики») материального начала. Для соответствующего уровня естественнонаучных представлений оказался плодотворным редукционистский подход.

4. Успехи естествознания XVII–XVIII веков, особенно в механике, заложили основы для последующего разрыва физики не только с философией античности, но и с религией, несмотря на то что Р. Декарт, Г. Лейбниц, Х. Гюйгенс и И. Ньютон были глубоко верующими христиа-

нами. Метафизические парадигмы физики все более и более отличались от парадигмы идеального начала и религиозной парадигмы (духовного начала). Можно утверждать, что *расхождение между наукой и религией было обусловлено существенными различиями используемых парадигм, т. е. дальнейшее противостояние науки и религии имело метафизические корни.*

5. Анализ естественнонаучных теорий и программ прошлого выявляет тенденцию использовать минимальное число физических (метафизических) категорий и «в пределе» прийти к единому началу, т. е. обнаруживается *стремление к монистической физической парадигме.* Таким образом, в перспективе можно надеяться на однотипность физической и монистических парадигм идеального и духовного начал, что позволит под новым углом зрения посмотреть на соотношение науки (физики), философии и религии.

6. Во всех рассмотренных учениях важное место занимал наблюдатель, воспринимающий окружающий мир. Это нашло отражение в трудах Галилея, Лейбница и Ньютона. Особое значение в рамках специфической философии идеализма было уделено наблюдателю (субъекту) в трудах Канта.

Часть I

Триалистическое и физическое миропонимания

К началу XX века сложилась физическая картина мира, основанная на трех ключевых физических категориях: 4-мерного классического пространства-времени, полей переносчиков взаимодействий и частиц. В XIX веке представления о мире были существенно иными. Так, в начале и в конце XIX века доминирующими были представления о наличии эфира, как материальной среды, ответственной за передачу взаимодействий. Тела (частицы) и носители взаимодействий (виды эфира) понимались как разновидности материальной субстанции со свойствами вещества. На рубеже XIX и XX веков взамен эфира были введены поля переносчиков взаимодействий, получившие статус самостоятельной физической категории. Одновременно с этим пространство, очищенное от эфира, было объединено со временем и составило единую категорию пространства-времени. Только в начале XX века категория частиц была окончательно признана мировым сообществом. Сложившаяся физическая картина мира, соответствующая триалистической (метафизической) парадигме, наглядно пояснена на рисунке 0.1, где три ортогональных орта соответствуют трем физическим категориям, через которые описывается реальный мир, представленный в виде пунктирного куба. В данной части обсуждены представления XX века о трех названных физических категориях: в главе 2 рассмотрена категория пространства-времени, в главе 3 — категория полей переносчиков взаимодействий, а в главе 4 — категория частиц в рамках теории поля.

Следует отметить, что в XIX веке были заложены основы дуалистических парадигм всех трех названных во введении миропониманий на базе коренной трансформации представлений, сформулированных в XVII веке. Так, в первой половине XIX века были открыты неевклидовы

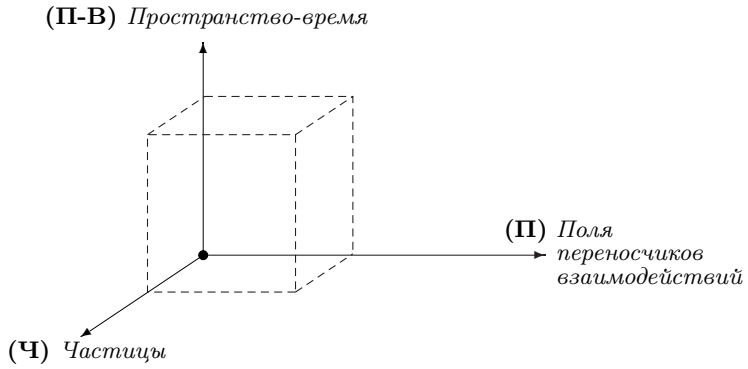

Рис. I.1. Триалистическая парадигма

геометрии, позволившие в XX веке перейти от натурфилософии Декарта к современному геометрическому видению, описываемому общей теорией относительности и многомерными теориями Калуцы—Клейна. В середине XIX века в наиболее сильной тогда немецкой физической школе были сформулированы идеи запаздывающего дальнодействия, значительно опередившие свое время и составившие в XX веке основу реляционного миропонимания. В конце XX века был произведен критический анализ ньютоновой физики, расчистивший путь для создания квантовой теории и соответствующей ей дуалистической парадигмы физического миропонимания.

Значительное место в главах 3 и 4 уделено обсуждению полей переносчиков взаимодействий и частиц в рамках физического миропонимания. Наконец, в последней 5-ой главе этой части проанализированы проблемы и перспективы развития квантовой теории поля.

Глава 2

Пространство–время

Рассмотрение физических категорий начинается с категории пространства-времени, во-первых, потому, что она в фундаментальной теоретической физике занимает центральное место. Без преувеличения можно сказать, что все главные открытия в физике XX века фактически были связаны с пересмотром представлений о пространстве и времени. Во-вторых, сама категория пространства-времени является обобщенной, вобравшей в себя две более простые категории: отдельно пространства и отдельно времени, рассматривавшиеся до XX века вместе, но как независимые. В-третьих, при переходе к 4-мерному пространству-времени проявляется ряд обстоятельств, которые будут возникать на протяжении этой книги всякий раз, когда будет осуществляться переход от пары категорий (простых или обобщенных) к новой обобщенной.

В этой главе рассматривается совокупность философских (метафизических), экспериментальных и математических факторов, обусловивших переход к новой (обобщенной) категории. Затем даются необходимые пояснения к математическому аппарату специальной теории относительности, в частности, анализируется обратный переход от обобщенной категории к простым исходным, где ключевую роль играет понятие системы отсчета. Во всех последующих главах также будут присутствовать некие аналоги классических систем отсчета. Здесь же предложен метафизический анализ аксиоматики геометрии (пространства-времени).

2.1. «Мистика мирового эфира»

Одновременно с процессом трансформации дуалистической гюйгенсовской парадигмы (а в некотором смысле и монистической парадигмы Декарта) в триалистическую парадигму с самостоятельной категорией по-

лей переносчиков взаимодействий происходило и формирование категории пространства-времени. Любопытные соображения об этом процессе метафизического характера были высказаны Я. И. Френкелем, писавшим в своей статье «Мистика мирового эфира»: «Мистицизм, т. е. вера в сверхъестественное, наименее уместен, казалось бы, в естественных науках. В действительности, однако, не только биология, но и физика не вполне свободны от мистических элементов. В области физических наук очагом, или средоточием, мистицизма является, по нашему мнению, понятие мирового эфира. Это понятие до сих пор многими учеными рассматривается как основание физического строения мира. В этом смысле роль эфира вполне сравнима с ролью божества в религиозном понимании Вселенной. Можно без преувеличения сказать, что для физиков и натурфилософов старой школы эфир является тем же, чем божество для верующих. Сравнение развития эволюции этих понятий выявляет поразительное сходство между ними — сходство, доходящее порой до тождества» [127, с. 136].

В своей работе Френкель напомнил, что с давних времен человеческому разуму было свойственно создавать абстракции из свойств природных явлений и отношений между людьми, отделять их от этих явлений и затем персонифицировать их в виде сверхъестественных существ. Именно так возникли представления о языческих богах, действиями которых человек объяснял явления окружающего мира. По мере интеллектуального развития общества число богов уменьшалось, и на определенном этапе языческая религия сменилась верой в единого Бога.

Нечто аналогичное происходило и в физике. Френкель проследил аналогию между эволюцией религий и развитием представлений физиков об эфире. В естествознании прошлого различалось несколько видов эфира. Одним эфиром объяснялось распространение световых волн (световой эфир), другим эфиром — передача электростатических взаимодействий между заряженными телами, третьим эфиром описывались магнитные взаимодействия. «Все эти особенные вещества относились к обычным примерно так же, как первобытные боги к обыкновенным людям. Но, подобно тому, как по мере развития анимистического мировоззрения все эти боги были вынуждены уступать место единому Богу, поглотившему или подчинившему их всех, точно так же, по мере развития физической концепции мира, различные «божественные вещества» были отчасти вытеснены, отчасти поглощены одним из них — световым эфиром Гюйгенса» [127, с. 137].

Следует отметить, что в ряде вузовских учебников по (общей) физике представления Гюйгенса о световом эфире начала XVIII века до сих

пор характеризуются как одно из важнейших достижений в науке. Достаточно вспомнить, как излагаются законы отражения и преломления света или как объясняются законы дифракции и интерференции световых волн на решетках, чтобы увидеть, что они опираются на световой эфир Гюйгенса, основанный на аналогиях между световыми и звуковыми явлениями. «Новое божественное вещество, открытое или, вернее, изобретенное Гюйгенсом, отличалось от обыкновенных упругих тел лишь своей невидимостью и невесомостью, а также и более тонким строением, позволявшем частицам эфира внедряться в промежутки между частицами весомой материи» [127, с. 138]. Большой вклад в развитие теории эфира Гюйгенса внес в первой четверти XIX века французский ученый Огюстен Жан Френель. Даже школьникам известны формулы и зоны Френеля.

«Однако развитие идеи эфира не остановилось на этом «световом» этапе. Из малого бога, светового Меркурия физического Олимпа, ему суждено было превратиться в великого и единого Бога, не только наполняющего, но и составляющего собой материальную Вселенную» [127, с. 139]. Это произошло во второй половине XIX века, главным образом, благодаря работам Фарадея и Максвелла. Физики отказались от таинственных флюидов Кулона, ответственных за передачу электрических взаимодействий, отказались также от божественной магнитной субстанции, передающей магнитное взаимодействие. Было установлено родство электрических и магнитных взаимодействий и далее единство электромагнитных и световых явлений. Фарадей пришел к выводу, что электромагнитные взаимодействия передаются через световой эфир. Стало ясно, что свет представляет собой электромагнитные волны. Качественные соображения Фарадея были переработаны Максвеллом в стройную теорию электромагнитного поля.

По этому поводу Френкель писал: «Так или иначе, превратившись из передатчика световых явлений в средоточие явлений электромагнитных, поглотив электрические и магнитные субстанции, а вслед за ними и обыкновенную материю, эфир становится тем самым единственной материальной основой Вселенной. «Пространством бесконечный, теченьем времени предвечный» мировой эфир получил все атрибуты единого Бога, который «все собою заполняет, объемлет, зиждет, составляет» и которого, кстати сказать, «никто постичь не мог». Ибо, как мы сейчас увидим, новые свойства эфира, вытекающие из его электромагнитных функций, совершенно не поддавались последовательной механической интерпретации. Установив культ мирового эфира как материального вседержителя, физика превратилась в учение об эфире, в своего рода

теологию, которая обратила все свои усилия к согласованию и взаимному примирению различных свойств этого особого божества» [108, с. 141].

Главным противоречием в теории эфира Фарадея—Максвелла являлась несовместимость его механических свойств с рядом требований, необходимых для описания электромагнитных явлений. Так, например, для описания поперечного характера электромагнитных волн эфир следовало наделить твердотельными свойствами. С другой стороны, для описания вихревых движений эфира, нужных для объяснения магнетизма, эфир следовало наделить свойствами жидкости. Имелись и другие трудности, все попытки преодоления которых потерпели неудачу. В конце прошлого века выход из этого противоречия представлялся в принятии новой теории — теории эфира Лоренца, в которой понятие эфира очищалось от лишних механических свойств. Фактически постулировался своеобразный «принцип невмешательства» механических свойств эфира в электромагнитные явления. На движение заряженных материальных объектов эфир никак не влиял. Он полагался неподвижным и выполнял лишь роль посредника в описании взаимодействий между заряженными частицами.

По этому поводу Я. И. Френкель писал: «И подобно просвещенным атеистам нашего времени, отвергнувшим живого бога своих предков и погруженным в мистическое созерцание нового «нейтрального» бога, которому до них нет никакого дела и до которого, в сущности говоря, им также нет никакого дела, современные физики заменили конкретный и вещественный эфир мифической туманностью, ничем по существу не отличающейся от *неподвижного пустого пространства, которым в свое время оперировал Ньютон* (курсив Ю. В.)» [127, с. 144]. Обратим особое внимание на вывод, согласно которому эфир Лоренца — своеобразный Бог в физике — оказался тождественным с физической категорией (ньютонова) пространства.

Но представления Лоренца об эфире недолго продержались в науке, так как довольно быстро вскрылись их противоречия с законами природы. Так, важнейшим свойством эфира Лоренца была его неподвижность, из которой следовало, что измеряя скорость света, распространяющегося относительно эфира в различных направлениях, можно найти абсолютную скорость движения Земли относительно эфира. Однако опыты Майкельсона, а затем и другие эксперименты дали отрицательный результат. Свет распространяется по всем направлениям с одной и той же скоростью, то есть на наблюдаемую скорость не влияет ни движение Земли вокруг Солнца, ни движение самого Солнца вместе с планетами в мировом пространстве. «При таких условиях неподвижный

эфир Лоренца совершенно утрачивает всякий физический смысл и вместе с тем всякое право на дальнейшее существование. Из «всего», чем он представлялся в эпоху расцвета теории Максвелла, он катастрофическим образом и вместе с тем почти незаметно, благодаря неизменности своего названия, превратился в «ничто», в *синоним пустого пространства* (курсив Ю. В.)... Эфир оказался не фундаментом величественного здания современного электромеханического мировоззрения, а теми «лесами», которые были необходимы при его возведении и которые убираются долой по окончании постройки» [127, с. 146]. Отсюда Я. И. Френкель сделал вывод, что наступила эра физического атеизма.

Однако эволюция представлений об эфире и пространстве-времени на этом не закончилась. Развитие теории относительности в XX веке позволяет утверждать, что роль эфира фактически взяло на себя пространство-время, очищенное от всех наслоений эфира прошлых лет, но при этом самостоятельный характер получила новая физическая категория поля переносчиков взаимодействий на фоне непрерывного пространства-времени.

2.2. От пространства и времени к пространству-времени

Герман Минковский, выступая в 1908 году на 80-м собрании немецких естествоиспытателей и врачей в Кельне, заявил: «Милостивые господа! Воззрения на пространство и время, которые я намерен перед вами развить, возникли на экспериментально-физической основе. В этом их сила. Их тенденция радикальна. Отныне пространство само по себе и время само по себе должны обратиться в фикции и лишь некоторый вид соединения обоих должен сохранить самостоятельность» [83, с. 167]. В этом заявлении Г. Минковского можно увидеть все три составные части всякой теории: эксперимент, математический аппарат и физическое (философское) осмысление.

Приступая к рассмотрению экспериментальной базы теории, напомним, что долгое время наука не знала более фундаментальных уравнений, чем уравнения механики Ньютона. И вот во второй половине XIX века Джеймс Максвелл, опираясь на результаты Майкла Фарадея, сформулировал систему уравнений, описывающих электромагнитное поле, под которым тогда понималось некое напряженное состояние эфира. Считалось само собой разумеющимся, что уравнения Максвелла должны иметь место лишь в одной привилегированной инерциальной системе

отсчета, жестко связанной с абсолютно покоящимся эфиром. В связи с этим в конце XIX века был поставлен ряд экспериментов с целью обнаружения движения Земли относительно неподвижного эфира. В задачу этой книги не входит описание известных опытов Майкельсона и Физо. Для нас здесь принципиально лишь то, что с их помощью не удалось обнаружить абсолютное движение Земли. Как уже отмечалось, это заставило сначала вносить коррективы в понимание эфира, а затем вовсе отказаться и от него, и от представлений о преимущественной инерциальной системе отсчета. Открылся простор для перехода к новым представлениям о природе пространства и времени.

Шаг за шагом физики приближались к истине. Уже в 1892 году Джордж Фитцджеральд высказал гипотезу о сокращении длин. Многое было сделано Хендриком Лоренцем, который в 1904 году нашел преобразования, через год подтвержденные Анри Пуанкаре, относительно которых уравнения Максвелла инвариантны. Любопытно упомянуть, что эти преобразования, известные как преобразования Лоренца, были записаны еще в 1887 году в работе В. Фохта. Но, видимо, тогда это открытие было преждевременным.

Вот как один из создателей релятивистской квантовой теории П. А. М. Дирак описал достижения Х. Лоренца: «Каждый, изучавший теорию относительности, несомненно удивлялся, почему Лоренц, которому удалось правильно построить все основные уравнения, необходимые для установления относительности пространства и времени, оказался не в состоянии сделать последний шаг, фактически устанавливающий относительность. Он проделал всю тяжелую работу — все действительно необходимые математические расчеты, но оказался не в состоянии пойти дальше, и вы спросите: «Почему?». Я думаю, что его удержали страхи, своего рода нерешительность. В самом деле, он побоялся вступить в совершенно новую область, поставить под вопрос общепринятые с незапамятных времен идеи. Он предпочел остаться на твердой почве своих математических расчетов. Пока он на ней оставался, его позиция была неуязвима; если бы он пошел дальше, неизвестно, какую критику это вызвало бы. Я думаю, что у него победило желание оставаться на совершенно безопасной почве.

Чтобы сделать необходимый шаг вперед и сказать, что время и пространство связаны между собой, понадобилось еще много лет и смелость Эйнштейна. Теперь этот шаг кажется очень маленьким шагом вперед, но в те дни сделать его было очень трудно. То, что я сейчас сказал, конечно, только предположение, но я думаю, что оно должно довольно точно соответствовать фактам. Я не вижу иного объяснения тому, как

можно подойти столь близко к великому открытию и все же в конце не суметь сделать последний небольшой шаг» [43, с. 69].

Требование инвариантности всех законов природы относительно преобразований Лоренца впервые высказал (скорее, как возможность) Анри Пуанкаре. Наконец, в 1905 году Эйнштейном было показано, что наличие этих преобразований (симметрий) содержит в себе значительно большее, чем формальное математическое свойство уравнений, — они соответствуют свойствам единого 4-мерного пространственно-временного многообразия. Именно с этого момента обычно отсчитывается создание специальной (или частной) теории относительности.

Для окончательного осознания принципов специальной теории относительности был важен геометрический вклад Германа Минковского, записавшего в симметричном виде квадрат интервала между двумя событиями в 4-мерном пространстве-времени. Это открытие привлекло внимание математиков и способствовало перенесению их разработок на физику.

Основы специальной теории относительности сейчас известны всем выпускникам средней школы, однако, к сожалению, это не позволяет говорить об усвоении ими (и даже многими студентами вузов) принципов этой теории. Недостаточно заучить определения и формулы, необходимо изменить характер физического мышления и, оттолкнувшись от привычных представлений, подняться на более высокую ступень миропонимания. Каждому приходится пройти тяжкий путь преодоления ряда «парадоксов» теории относительности и только после многократного их разрешения достичь убежденности в ее справедливости.

Такая картина наблюдалась и в физике первой трети XX века. Как пишет К. Зелиг, «даже Нильс Бор, принадлежащий, как и Планк, к «отцам атомной теории», долгое время скептически относился к теории относительности. Вильгельм Рентген тоже честно признался в письме: «У меня еще никак в голове не укладывается, что надо применять такие совершенно абстрактные рассуждения и понятия для объяснения явлений природы»... Новую теорию высмеивали юмористические журналы и эстрадные куплетисты» [50, с. 69]. Теория относительности оживленно обсуждалась в 1911 году на Сольвеевском конгрессе, где присутствовали Э. Резерфорд, М. Складовская-Кюри, П. Ланжевен, М. Планк, Нернст и другие известные физики. В книге Б. Г. Кузнецова об А. Эйнштейне можно найти такие слова: «Эйнштейн в письме в Цюрих к своему другу доктору Генриху Цангеру говорил (после Сольвеевского конгресса — Ю. В.), что сущность теории относительности не была понята» [64, с. 200].

Столь же высоких ступенек, разделяющих уровни понимания физических принципов, немного. Сравниться с ними может, на наш взгляд, лишь осознание принципов квантовой механики и отчасти переход от специальной теории относительности к общей, который, как правило, дается значительно легче.

В России физики сравнительно быстро восприняли идеи специальной теории относительности. Сторонниками новой теории стали Н. А. Умов, П. Н. Лебедев, П. С. Эпштейн в Москве, О. Д. Хвольсон, В. С. Игнатовский в Петербурге, А. В. Васильев в Казани, В. Ф. Коган в Одессе и другие. Однако, механики оказались более консервативными: негативную позицию по отношению к специальной теории относительности заняли Н. Е. Жуковский, Я. И. Грдина, К. Э. Циолковский и некоторые другие ученые. Долгое время среди физиков велась дискуссия по вопросу, как понимать преобразования Лоренца: только лишь как свойство уравнений электромагнитного поля или как всеобщий закон природы. Известно, что ряд физиков и естествоиспытателей относили преобразования Лоренца лишь к теории электромагнетизма. Заметим, что до сих пор во многих вузовских учебниках физики специальную теорию относительности излагают в разделе электродинамики, что нередко приводит к недооценке глобального значения теории относительности для всего физического миропонимания.

2.3. Пространство-время Минковского

Полагая, что путь от ньютоновой теории к релятивистской читатель так или иначе прошел, напомним основные положения теории 4-мерного пространства-времени Минковского, а в следующих разделах опишем обратный путь к пространству и времени Ньютона—Галилея.

В специальной теории относительности посредством пространства-времени Минковского, строго говоря, описываются события и соотношения между ними. Каждое событие характеризуется точкой в 4-мерном пространстве-времени, т. е. ему ставится в соответствие четверка чисел x^μ, где индекс μ пробегает 4 значения: 0, 1, 2, 3. Координата с индексом 0 обычно связывается со временем ($x^0 = xt$), а оставшиеся три — с пространственными измерениями (см. рисунок 2.2). Нередко полагается, что пространственные координаты являются декартовыми, хотя это совершенно необязательно. Они могут быть сферическими, цилиндрическими или любыми иными.

Современная физика вплотную подошла к ответу на метафизический вопрос, поставленный еще в работах Э. Маха: «Почему пространство

трехмерно?» Однако сегодня этот вопрос должен быть поставлен иначе: Почему пространство-время четырехмерно? В главе 8, посвященной многомерным геометрическим теориям, мы вернемся к этой проблеме.

Любой паре событий, происшедших в точках x_1^μ и x_2^μ, соответствует вещественное число — *квадрат интервала* между этими событиями, определяемый через разности координат событий:

$$\Delta s^2 = (x_2^0 - x_1^0)^2 - (x_2^1 - x_1^1)^2 - (x_2^2 - x_1^2)^2 - (x_2^3 - x_1^3)^2 \equiv$$
$$\equiv (\Delta x^0)^2 - \Delta l^2 \equiv \eta_{\mu\nu}\Delta x^\mu \Delta x^\nu, \qquad (2.3.1)$$

где коэффициенты в последнем выражении справа называются *компонентами метрического тензора* пространства-времени Минковского. Здесь и в дальнейшем производится суммирование от 0 до 3 по повторяющимся сверху и снизу греческим индексам.

Метрика — вещественное число, являющееся интервалом в специальной теории относительности или длиной в геометрии, играет чрезвычайно важную, если не сказать, определяющую роль во всей системе физического мироздания. Еще в середине XIX века математиком Б. Риманом [101] был поставлен метафизический вопрос о причине возникновения метрических отношений и сделан вывод о физических истоках этого геометрического понятия.

В декартовых координатах компоненты метрического тензора представляются в виде 4×4-матрицы:

$$\eta_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} +1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}. \qquad (2.3.2)$$

Число плюсов и минусов на главной диагонали является важным инвариантным свойством многообразия, обычно называемым *сигнатурой*. В физическом пространстве-времени Минковского один знак плюс и три знака минус (или можно выбрать наоборот). Чаще всего сигнатуру обозначают выражением $(+---)$. В сигнатуре пространства-времени можно усмотреть проявление метафизических двоичности (в виде двух знаков $+$ и $-$, т. е. временно-подобности и пространственно-подобности) и троичности (в виде трех пространственных измерений).

Если одно из событий находится в начале координат, то, очевидно, квадрат интервала (2.2.1) записывается проще

$$s^2 = (x^0)^2 - (x^1)^2 - (x^2)^2 - (x^3)^2 \equiv (x^0)^2 - l^2. \qquad (2.3.3)$$

В современной теоретической физике обсуждается вопрос о причинах именно такой сигнатуры наблюдаемого пространства-времени.

Как было сказано выше, для создания теории относительности важное значение имело открытие преобразований, при которых остаются инвариантными уравнения Максвелла. Важность этих преобразований состоит в том, что относительно них оказываются инвариантными все фундаментальные уравнения и выражения, в том числе и квадраты интервалов (2.3.1) и (2.3.3). Это линейные преобразования, представимые в форме

$$x'^{\mu} = C^{\mu}_{\nu} x^{\nu}. \tag{2.3.4}$$

На коэффициенты C^{μ}_{ν}, характеризующие эти преобразования, наложен ряд условий. Подставляя эти преобразования, например, в (2.3.3), легко найти эти условия:

$$C^{\mu}_{\nu} C^{\nu}_{\alpha} = \delta^{\mu}_{\alpha}. \tag{2.3.5}$$

Это 10 условий на 16 коэффициентов, т. е. независимыми являются только 6. Совокупность таких преобразований образует группу, называемую группой Лоренца. Она обозначается символом $O(1,3)$, отражающим сигнатуру пространства-времени.

Скорость любой точки характеризуется четырьмя компонентами вида

$$u^{\mu} = \frac{dx^{\mu}}{ds}, \tag{2.3.6}$$

где вместо привычного дифференциала времени стоит дифференциал релятивистского интервала ds. Из определения интервала следует известное свойство 4-скоростей:

$$\eta_{\mu\nu} u^{\mu} u^{\nu} = 1, \tag{2.3.7}$$

означающее, что квадрат скорости любого (массивного) объекта равен единице.

Любая частица характеризуется своей мировой линией, и если она движется равномерно и прямолинейно, то ее мировая линия изображается прямой, наклоненной к оси времени. На рисунке 2.2 изображена одна такая мировая линия, проходящая через начало координат.

Умножая 4-скорость на массу покоя частицы m_o, получаем 4-импульс частицы

$$p^{\mu} = m_o u^{\mu}. \tag{2.3.8}$$

Компонента p^0 имеет смысл кинетической энергии частицы.

В пространстве-времени Минковского особое значение приобретают события или смещения, характеризуемые нулевыми значениями интервала. Если выделить точку-событие в начале координат, то все события,

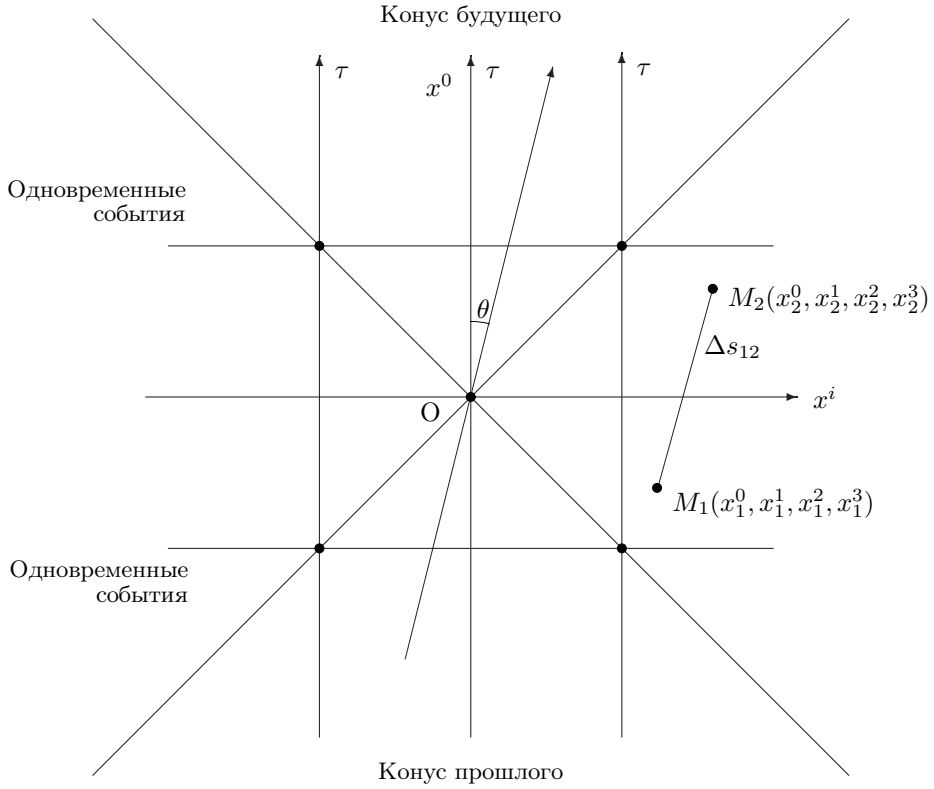

Рис. 2.1. События в пространстве-времени Минковского

характеризуемые относительно начала нулевыми значениями интервала, лежат на конусах будущего и прошлого (см. рисунок 2.1).

Свет распространяется от одной частицы к другой по световому конусу, или по *изотропным мировым линиям*. Все мировые линии массивных частиц, проходящие через начало координат, обязательно лежат внутри световых конусов.

В самом общем случае уравнение движения частицы в пространстве-времени Минковского описывается релятивистски инвариантным уравнением движения:

$$m_o \frac{du^\mu}{ds} = F^\mu, \tag{2.3.9}$$

естественным образом обобщающим известный второй закон Ньютона. Здесь слева стоит релятивистское ускорение, а справа — релятивистская сила F^μ, характеризуемая четырьмя компонентами.

Выше была дана сводка ключевых соотношений в пространстве-времени Минковского. Заметим, что пока не было сказано ни слова о понятии системы отсчета или об относительности и все рассуждения велись строго в терминах 4-мерной теории.

2.4. Системы отсчета ($1+3$-расщепление)

После перехода к обобщенной категории 4-мерного пространства-времени и построения теории в новых терминах необходимо вспомнить, что мы сами рассуждаем и воспринимаем мир (его наблюдаем) в терминах именно старых понятий 3-мерного пространства и отдельно времени. Экспериментатор может измерять по своим часам время или линейкой расстояния. Это заставляет развить обратную процедуру перехода от обобщенной теории и ее специфических понятий к присущим нам (экспериментатору) представлениям, что осуществляется посредством введения понятия *системы отсчета*. Оказывается, что в классической области результаты измерений двух наблюдателей существенно зависят от относительной скорости их движения.

Подчеркнем, что в специальной теории относительности, как и в теории Ньютона, рассматривается только класс привилегированных, так называемых *инерциальных систем отсчета*. В ньютоновой механике их существование постулируется первым законом Ньютона.

Прежде всего, необходимо показать, как от обобщенных 4-мерных понятий в пространстве-времени Минковского перейти к привычным 3-мерным величинам ньютоновой теории. Начнем с понятия 4-мерного интервала. В любой системе отсчета интервал для смещения произвольной частицы можно представить в виде

$$ds = \sqrt{(dx^0)^2 - dl^2} = dx^0\sqrt{1-(dl/dx^0)^2} = dx^0\sqrt{1-(v/c)^2}, \qquad (2.4.1)$$

где введена нерелятивистская (ньютонова) 3-мерная скорость в рассматриваемой системе отсчета

$$v^i = \frac{dx^i}{dt}; \quad v = \frac{dl}{dt}. \qquad (2.4.2)$$

Используя (2.4.1) легко перейти от 4-скорости u^μ в (2.3.6) к компонентам 3-мерных скоростей данной системы отсчета:

$$u^\mu = \frac{dx^\mu}{ds} \to u^i = \frac{v^i/c}{\sqrt{1-(v/c)^2}}; \quad u^0 = \frac{1}{c\sqrt{1-(v/c)^2}}. \qquad (2.4.3)$$

Здесь и в дальнейшем латинские индексы пробегают три значения: 1, 2, 3.

Понятие системы отсчета принципиально отличается от понятия координатной системы. В рамках одной и той же системы отсчета можно выбирать различные координатные системы. В частности, из линейных 4-мерных преобразований (2.3.4) выделяются 3-мерные координатные преобразования

$$x'^i = C^i_k x^k, \quad x'^0 = x^0 \tag{2.4.4}$$

с условиями $C^i_k C^k_j = \delta^i_j$ на коэффициенты с латинскими (3-мерными) индексами, соответствующие различным выборам направлений координатных осей. Очевидно, при таких преобразованиях длины отрезков (Δl) не меняются. Кроме того, все покоящиеся тела, изображаемые в инерциальной системе отсчета вертикальными мировыми линиями, остаются неподвижными, т. е. характеризуются теми же линиями (см. рис. 2.2).

Однако среди (2.3.4) имеются преобразования, перемешивающие пространственные (с 3-мерными латинскими индексами) и временную координаты. Легко видеть, что при таких преобразованиях семейство вертикальных линий изменит свое направление. Если полагать, что получившиеся линии по-прежнему описывают мировые линии наблюдателей, то данное преобразование означает переход к иной инерциальной системе отсчета (со штрихованными координатами), в которой прежние неподвижные наблюдатели становятся подвижными, а неподвижные наблюдатели относительно новой системы отсчета характеризуются новыми вертикальными линиями. На рисунке 2.2 изображены две системы мировых линий наблюдателей, угол между которыми определяется относительной скоростью их движения $\theta = \operatorname{arcctg}(V/c)$.

Для системы неподвижных наблюдателей одновременные события лежат на горизонтальных линиях, т. е. характеризуются одними и теми же значениями координаты $x'^0 = \mathrm{Const}$. Для подвижного наблюдателя одновременные события оказываются иными. Их легко найти, так как в обеих системах отсчета световые конусы оказываются теми же. Так, одновременными следует считать события, соответствующие точкам пересечения симметричных относительно начала координат наклонных линий со световым конусом. Соединяя их между собой, приходим к семейству наклонных линий, характеризующих одновременные события движущейся системы отсчета. Их отличие от семейства горизонтальных линий одновременности отражает свойство относительности понятия одновременности от состояния движения наблюдателей.

При переходе от одной системы отсчета к другой квадраты интервала между парой событий в них остаются одинаковыми, тогда как промежутки времени и 3-мерные длины (расстояния) в формуле (2.4.1) из-

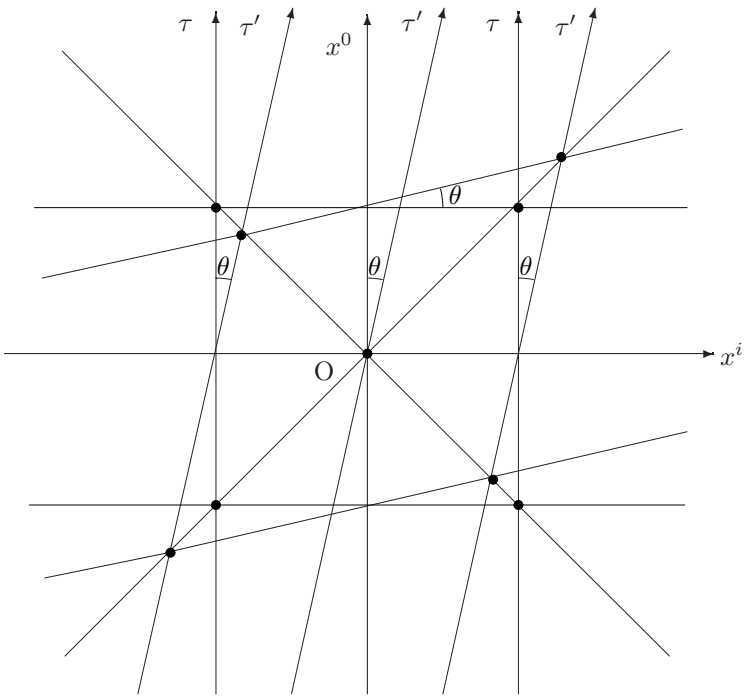

Рис. 2.2. Сравнение наблюдателей и линий одновременности в двух инерциальных системах отсчета

меняются. Для частного случая, когда одна система отсчета движется вдоль какой-либо из осей, например, оси x^1 со скоростью V, преобразования промежутков времени и длин описываются известными формулами преобразований Лоренца

$$\Delta x'^0 = \frac{\Delta x^0 - (V/c)\Delta x^1}{\sqrt{1-(V/c)^2}}; \qquad \Delta x'^1 = \frac{\Delta x^1 - (V/c)\Delta x^0}{\sqrt{1-(V/c)^2}}. \tag{2.4.5}$$

На этих формулах основаны рассуждения о сокращениях длин и о других следствиях специальной теории относительности. Легко видеть, что при малых скоростях относительного движения двух систем отсчета (при $V/c \ll 1$) соотношения (2.4.5) переходят в формулы для преобразований Галилея в ньютоновой механике

$$\Delta x'^0 = \Delta x^0; \qquad \Delta x'^1 = \Delta x^1 - V\Delta t. \tag{2.4.6}$$

Имея формулу для преобразований Лоренца, можно получить формулу сложения скоростей. Полагая, что два события соответствуют двум положениям некоторой точки, так что в нештрихованной системе отсче-

та $v = \Delta x^1/\Delta t^1$, а в штрихованной — аналогично $v' = \Delta x'^1/\Delta t'^1$, и деля одну часть формулы (2.4.5) на другую и умножая на c, имеем

$$v' = \frac{v - V}{1 - vV/c^2} \to v = \frac{v' + V}{1 + v'V/c^2}. \tag{2.4.7}$$

Отсюда следует, что сложение двух скоростей v' и V, не превышающих скорость света, приводит к скорости, также меньшей c.

Очевидно, что для открытия специальной теории относительности и получения ее следствий как физического, так и методологического характера, необходимо было изучить явления, связанные с большими скоростями движения, сравнимыми со скоростью света. Во времена Галилея и Ньютона, не говоря об античности, это, естественно, было невозможным, что еще раз доказывает зависимость миропонимания (и даже метафизики) от уровня развития физики.

Следует подчеркнуть, что понятие системы отсчета в механике имеет идеализированный, как бы твердотельный, характер. Полагается, что во всех точках пространства определен свой наблюдатель или некая измерительная система, способная собирать информацию о событиях в соответствующих точках пространства-времени. Одна инерциальная система отсчета относительно другой характеризуется, как говорят в геометрии, конгруэнцией параллельных прямых мировых линий. Рассмотрение двух (и более) систем отсчета означает наличие в каждой точке двух (или скольких угодно) идеальных наблюдателей, никак не влияющих друг на друга.

2.5. Хроногеометрия

Важность понятия системы отсчета обусловлена ее метафизическим характером, — связана с делением целого на части: на рассматриваемые объекты, на тело отсчета и другие тела окружающего мира. Числа, в частности, координаты, расстояния, промежутки времени и другие, возникают как некие отношения объектов к телу отсчета[1] Это контрастно проявляется в ином способе задания системы отсчета — посредством хроногеометрии. Он основан не на задании континуума наблюдателей, заполняющих все пространство, а на определении так называемого *одиночного наблюдателя*, характеризуемого одной мировой линией или узкой трубкой линий. Чтобы он мог получать информацию о всех остальных

[1] Ниже будет показано (см. разд. 4.3), что названное деление всего множества тел (частиц) на три части соответствует принципу фрактальности в категории частиц.

точках пространства-времени, его нужно снабдить соответствующей аппаратурой и методикой анализа.

Пусть наблюдатель может использовать радиолокацию, т. е. обладает возможностью излучать и принимать отраженные сигналы (электромагнитные), фиксируя по показаниям своих часов моменты излучения и приема сигналов. Напомним, что разности показаний часов на (временно-подобной) мировой линии наблюдателя определяют интервалы, т. е. являются инвариантами теории относительности. На основе показаний часов наблюдателя можно переформулировать всю теорию относительности, не только специальную, но и общую [2, 109]. Эта методика, названная *хроногеометрией*, подробно рассмотрена, например, Дж. Сингом, который писал: «Для нас единственной *основной мерой является время*. Длина (или расстояние), поскольку возникает необходимость или желательность их введения, будет рассматриваться как строго произвольное понятие... Фактически мы имеем дело дело с римановой хроногеометрией, а не *геометрией*, слово *геометрия*, внушающее опасение, что нам, чего доброго, придется возиться с измерением длин с помощью *метровой линейки*, можно было бы в этой связи полностью исключить из употребления, если бы грубое буквальное значение понятия геометрии не приобрело глубокой связи с абстрактными математическими определениями «пространства», «метрик» и т. д.» [109, с. 101].

Продемонстрируем, как можно развернуть содержание релятивистской геометрии, ввести ее основные понятия и соотношения, исходя из показаний часов на временно-подобной мировой линии наблюдателя (из отношений к телу отсчета).

1. На мировой линии имеем монотонно изменяющийся параметр $\tau = ct$ — собственное время наблюдателя. Квадрат интервала s_{12}^2 между двумя событиями на этой мировой линии, помеченными индексами 1 и 2, задается часами: $s_{12}^2 = (\tau_2 - \tau_1)^2$.

2. В окрестности своей мировой линии (не обязательно малой) наблюдатель самым непосредственным образом может ввести две координаты окружающих точек-событий. Поясним это. Пусть наблюдателя интересуют координаты точки-события M вне его мировой линии, и пусть наблюдатель, испустив сигнал в момент собственного времени τ_1, отсчитываемого от некоторой точки O, получил отраженный от M сигнал в момент τ_2 (см. рис. 2.3). Значение τ_i положительно, если точка O предшествует τ_i, и отрицательно, если O выбрано после τ_i. Время события M относительно O можно определить величиной

$$\tau_{OM} = \frac{1}{2}(\tau_2 + \tau_1), \tag{2.5.1}$$

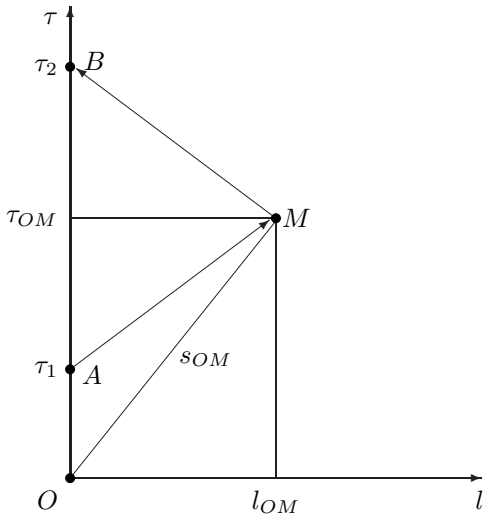

Рис. 2.3. Определение промежутка времени и расстояния между событиями O и M в хроногеометрии

расстояние между событиями O и M следует задать формулой (см. рис. 2.3)

$$l_{OM} = \frac{1}{2}(\tau_2 - \tau_1), \tag{2.5.2}$$

а квадрат пространственно-временного интервала между событиями — формулой

$$s^2_{OM} = \tau_1 \tau_2. \tag{2.5.3}$$

Легко видеть, что выполняется обычное соотношение

$$s^2_{OM} = \tau^2_{OM} - l^2_{OM}. \tag{2.5.4}$$

3. Если точка O лежит между моментами испускания сигнала и его приема после отражения, то, согласно (2.5.3), события и пространственно-подобны, т. е. $\Delta s^2_{OM} = (OM)^2 < 0$.

4. Хроногеометрическим способом можно ввести понятия векторов, их скалярные произведения, вывести формулы для преобразований Лоренца и многое другое.

5. В рамках хроногеометрии особенно ясным становится смысл так называемого «парадокса близнецов». В некоторых публикациях этот «парадокс», состоящий в разных показаниях часов двух наблюдателей, одновременно вышедших из одного места и затем вновь встретившихся в какой-то другой точке пространства-времени, связывают с процессом ускорения одной системы отсчета относительно другой. На самом де-

ле это чисто кинематический эффект, обусловленный разными длинами (разными значениями собственных времен) отрезков двух мировых линий, имеющих общие начала и конец.

6. Методом хроногеометрии задаются координата времени и расстояние от наблюдателя (радиальная координата в цилиндрической координатной системе) до точки-события M, но не определяются угловые координаты (например, углы θ и φ) события M. Для их определения необходимы дополнительные факторы. Это можно сделать либо определив наблюдателя достаточно сложной структуры, например, обладающего датчиками направлений посылки и приема сигналов, либо, взяв систему из трех точечных наблюдателей описанного выше вида, хроногеометрическим способом определять расстояния и промежутки времени до них и затем сравнивать их показания. В последнем случае можно сказать, что система из трех наблюдателей составляет *тело отсчета*, относительно которого задается система отсчета.

2.6. Природа пространства-времени

Перейдем к философскому осмыслению категории пространства-времени. В литературе можно встретить упоминания о двух взглядах на природу пространства-времени: *субстанциальном и реляционном*, однако, имея в виду названные выше три миропонимания и соответствующие им метафизические парадигмы, можно утверждать, что их значительно больше — почти столько же, сколько имеется парадигм. При этом, строго говоря, отдельное рассмотрение категории пространства-времени допустимо лишь в триалистической парадигме и в дуалистической парадигме физического миропонимания. Во всех других парадигмах можно говорить лишь о некоторых обобщенных категориях, включающих в себя категорию пространства-времени. Именно такие обобщенные категории фактически имеют в виду, когда говорят о субстанциальной или реляционной природе пространства-времени.

Триалистическая или дуалистическая парадигмы физического миропонимания автоматически означают редукционистский подход к мирозданию, согласно которому пространство-время имеет онтологический характер, то есть более первично, чем мир в целом, описываемый через эту и другие категории. Этот подход фактически был заложен в учении Демокрита и был представлен в трудах Ньютона. В нем пространство-время объективно существует как фон, как сцена, на которой, подобно спектаклю, разыгрывается история физического ми-

роздания. Многие физики сознательно или бессознательно придерживаются именно этого понимания природы пространства-времени.

Можно сказать, что Я. И. Френкель, критикуя идею эфира, поторопился заявить, что с ее крушением в физике наступила эра физического атеизма. Большинство физиков в XX веке осталось на позициях концепции близкодействия, для которой необходим пространственно-временной фон, — без него невозможно описание распространения полей переносчиков взаимодействий. А если этот фон есть и он рассматривается как самостоятельная сущность, то он не что иное, как возведенный на прежний пьедестал новый физический бог, лишь очищенный от ряда нежелательных свойств.

Заметим, что когда в популярной, а то и в научной литературе, пишут о возможности создания «машины времени», то за этим кроются представления о реальном существовании пространства-времени.

Однако, если вдуматься в суть данного подхода, то неизбежно возникает ряд вопросов. В. Гейзенберг писал: «С точки зрения современной науки мы бы сказали, что пустое пространство между атомами Демокрита — это не ничто; оно является носителем геометрии и кинематики и делает возможным порядок и движение атомов. До сих пор возможность пустого пространства осталась нерешенной проблемой» [33, с. 32].

Коснемся других подходов к природе пространства-времени. В рамках **физического миропонимания** конечной целью видится парадигма, основанная на одной обобщенной категории, объединяющей в себе категории пространства-времени и единого поля. Обычно эта категория называется *физическим вакуумом* или просто *вакуумом*. Именно в этой парадигме следует говорить об упомянутом выше *субстанциальном подходе к природе пространства-времени*.

Субстанциальный подход к природе пространства-времени инициирует постановку ряда принципиальных задач философского звучания, таких как получение из вакуума известных видов материи (полей) и, как следствие, извлечение из вакуума энергии. Идея нового эфира — физического вакуума — нашла благодатную почву во многих умах. В результате в некоторых научно-исследовательских институтах под программу исследований вакуума и извлечения из него энергии выделялись значительные средства, организовывались специальные отделы со значительными штатами. Отметим, что серьезных сведений о положительных результатах таких работ не поступало.

В геометрическом миропонимании также имеется несколько парадигм, диктующих различный взгляд на природу пространства-времени. Так, в дуалистической парадигме, к которой принадлежит

общая теория относительности, вводится обобщенная категория, объединяющая пространство-время с категорией полей переносчиков взаимодействий (но не частиц), а в экстремальной геометрической парадигме (монистической) опять приходим к субстанциальной природе пространства-времени, когда геометрическим (пространственно-временным) образом описывается и категория частиц.

Реляционный подход к природе пространства-времени соответствует **реляционному миропониманию**, которое будет проанализировано в третьей части книги. Здесь лишь отметим, что в нем пространство-время рассматривается лишь как способ описания отношений между событиями материального мира. При отсутствии частиц и событий пространство-время теряет всякий смысл. Напомним, что данные взгляды были характерны для Лейбница. В XX веке этот подход развивался в трудах Я. И. Френкеля, Ф. Хойла, Дж. Нарликара и ряда других авторов.

Взгляд на природу пространства-времени на основе *холизма* был представлен в трудах Э. Маха, А. Пуанкаре и ряда других авторов. Так, например, Э. Мах в своей «Механике» обращал внимание на то, что многим умозрительным понятиям «большинством естествоиспытателей приписывается реальность, выходящая за пределы мышления... Мы не должны считать основами действительного мира те интеллектуальные вспомогательные средства, которыми мы пользуемся для постановки мира на сцене нашего мышления» [80]. Именно это происходило в прошлом, когда вводили теплород, флогистон, эфир и прочие субстанции. Немало подобных умозрительных понятий сохранилось и в современной физике. С позиций холизма это в полной мере относится и к понятию пространства-времени, — оно представляет собой лишь удобную абстракцию, через которую человек создает себе представления об окружающем его мире.

2.7. Аксиоматика геометрии

В наиболее строгом виде математические представления о категории пространстве-времени принято формулировать в виде *аксиоматики* геометрии. Следует отметить, что уже сам *аксиоматический подход имеет метафизический характер*, — это задание исходных, недоказуемых ничем положений, кроме как непротиворечивостью и приемлемостью построенной на их основе геометрии.

Обычно рождение аксиоматического подхода к геометрии датируется с «Начал» Евклида (III век до н.э.), однако он обсуждался еще в трудах

Платона и Аристотеля. Как уже отмечалось, Платон возражал против аксиоматического метода рассуждений, настаивал на способе рассуждений «по кругу» (на определении одних понятий через противоположные им), тогда как Аристотель был сторонником рассуждений «по лучу», когда вершиной луча служит набор аксиом, а сам луч представляет собой цепочку из лемм и теорем, возводящих здание геометрии. На многие века доминирующим стал подход Аристотеля (аксиоматический). Широко известна более чем двухтысячелетняя история с пятым постулатом Евклида (см. разд. 6.1).

Николай Кузанский определил аксиоматический подход выражающим основной принцип рассудка — «запрет противоречия». Как пишет П. П. Гайденко: «Согласно Кузанцу, аксиомы, так же как и базирующиеся на них доказательства, являются тем «забором», с помощью которого рассудок заботливо отгородил свою территорию от тех противоречий, которые могли бы взорвать все возводимое им здание науки» [30, с. 29].

А. Пуанкаре писал, что: «*геометрические аксиомы не являются ни синтетическими априорными суждениями, ни опытными фактами.* Они суть *условные положения* (соглашения): при выборе между всеми возможными соглашениями мы *руководствуемся* опытными фактами, но самый выбор остается *свободным* и ограничен лишь необходимостью избегать всякого противоречия. Поэтому-то постулаты могут оставаться *строго* верными, даже когда опытные законы, которые определяли их выбор, оказываются лишь приближенными. Другими словами, *аксиомы геометрии* (я не говорю об аксиомах арифметики) *суть не более чем замаскированные определения*» [95, с. 40]. В своем произведении «Наука и гипотеза» он неоднократно возвращается к этой мысли, подчеркивая «что в силу естественного отбора наш ум приспособился к условиям внешнего мира, что он усвоил себе геометрию, наиболее выгодную для вида, или, другими словами, наиболее удобную. Но это соответствует нашим выводам о том, что геометрия не истинна, а только выгодна» [95, с. 62].

Как известно, всякая аксиоматика опирается на систему *примитивов* — исходных (далее не определяемых) элементарных понятий, подчиняющихся лишь данной системе аксиом. Например, в известных аксиоматиках евклидовой геометрии Гильберта, Костина и других авторов в качестве примитивов выбираются точки, прямые, плоскости, но возможен и иной выбор. Из них по определенным правилам строятся теоремы. Имеется большой произвол в выборе как самих примитивов, так и аксиом. Например, то, что в одной аксиоматике является теоремой, в другой аксиоматике может быть аксиомой, тогда некоторые аксиомы

первой аксиоматики становятся теоремами. Конкретизация аксиоматики, в конечном счете, определялась целью, зачем она строилась. В любой аксиоматике неизбежно заложено то или иное миропонимание (одна из возможных метафизических парадигм). В большинстве предлагавшихся аксиоматик отражалось именно физическое или триалистическое миропонимания. В них геометрические понятия формально не связывались с другими физическими категориями, понимались самостоятельными, однако, как оказалось, это не совсем так.

Оказывается, даже евклидова геометрия представляет собой довольно сложный комлекс из примитивов и аксиом, число последних варьируется в некоторых пределах, однако, как правило, превышает два десятка. Естественно, аксиоматики 3-мерной евклидовой геометрии отражали представления о пространстве в ньютоновой физике. После открытия специальной теории относительности (СТО) были разработаны аксиоматики 4-мерного пространства-времени в работах А. Робба, А. Д. Александрова и ряда других. Будем опираться на аксиматику пространства-времени Минковского.

Анализ представленных в литературе аксиоматик такого рода показывает, что в них *минимальное и устойчиво повторяющееся число примитивов равно трем*. Как правило, в качестве примитивов геометрии выбираются: **точки, метрика (расстояния), множества**. При этом геометрические точки трактуются как физические точки-события, а вместо расстояний выступают интервалы (метрика). Примечательно также, что в предлагавшихся аксиоматиках *аксиомы разбиваются на три основные группы: аксиомы порядка, метрические и топологические аксиомы*, причем эти группы аксиом тесно привязаны к названным выше трем примитивам.

Кратко охарактеризуем названные группы аксиом.

1. Аксиомы порядка, как правило, выбирались исходными во многих аксиоматиках. В частности, было показано, что переход от евклидовой 3-мерной геометрии и абсолютного времени к 4-мерному пространству-времени можно понимать как изменение аксиом порядка. *Аксиомы линейной упорядоченности* заменяются на *аксиомы частичной упорядоченности*.

Напомним, абсолютность времени в дорелятивистских представлениях можно трактовать как свойство линейной упорядоченности точек-событий. Оно означает, что для любых двух событий a и b имеет место одно из трех отношений: либо b' следует за a ($b' > a$), либо a следует за b'' ($b'' < a$), либо a и b''' одновременны ($a = b'''$). Свойство линейной упорядоченности физически означает наличие сигналов с бесконечной

скоростью распространения. Принятие постулата специальной теории относительности (СТО) о предельной скорости (света) привело к замене свойства линейной упорядоченности свойством частичной упорядоченности. Последнее означает (см. рис. 2.4), что для любых двух различных точек a и b имеет место одно из трех отношений: либо b' следует за a ($b' > a$), либо a следует за b'' ($b'' < a$), либо a и b''' не следуют друг за другом ($b''' \leftrightarrow a$), т. е. они не упорядочены. Первые два отношения означают временно-подобность рассматриваемых событий, последнее — пространственно-подобность.

Аксиомы частичной упорядоченности формируют систему упорядоченности для трех точек. Например, имеется аксиома транзитивности, утверждающая: если b следует за a, а c следует за b, то и c следует за a.

В большинстве аксиоматик СТО аксиомы частичной упорядоченности рассматриваются как ключевые, с которых начинается построение аксиоматики. На них нанизываются все остальные группы аксиом. Именно отношения упорядоченности обусловливают понятие причинности в физике.

2. Метрические аксиомы составляют следующий важный класс аксиом пространства-времени Минковского. Их суть состоит в том, что для любой пары точек-событий задается вещественное число, называемое квадратом интервала между событиями (Δs^2). Интервал Δs обобщает понятие длины Δl между двумя точками в евклидовой геометрии или понятие промежутка абсолютного времени Δt между двумя событиями. Метрические аксиомы привязаны к аксиомам частичной упорядоченности. В частности, квадрат интервала между двумя точками положителен ($\Delta s^2 > 0$), если точки-события упорядочены (временно-подобны), и отрицателен ($\Delta s^2 < 0$), если точки-события пространственно-подобны. Относительно любой точки-события важную совокупность образуют точки на световом конусе — на границе между пространственно-подобными и временно-подобными событиями (рис. 2.4).

В некоторых аксиоматиках из метрических аксиом отдельно выделяется **аксиома Архимеда**, утверждающая, что если даны два отрезка (числа), то складывая меньший отрезок (число) некоторое число раз, всегда можно превзойти больший отрезок (число).

Принципиально важно отметить, что в определении метрических отношений содержатся представления о вещественных числах. В связи с этим принято говорить, что используется еще система неявно заданных аксиом арифметики. В частности, это имел в виду А. Пуанкаре, говоря о скрытых аксиомах: «Являются ли аксиомы, явно формулируемые в

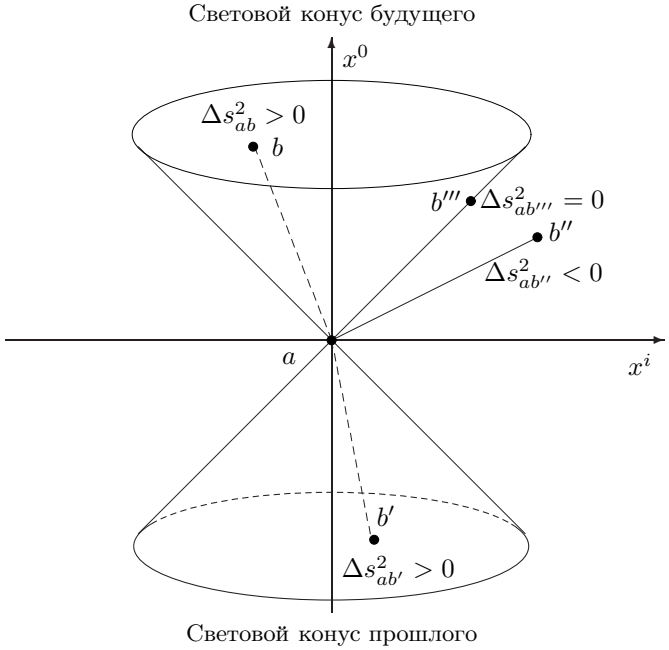

Рис. 2.4. Частичная упорядоченность в пространстве Минковского

руководствах, единственными основаниями геометрии? Мы можем убедиться в противном, замечая, что даже если одну за другой отвергнуть эти аксиомы, все-таки еще останутся нетронутыми некоторые предложения, общие теориям Евклида, Лобачевского и Римана. Эти предложения должны опираться на некоторые предпосылки, которые геометры допускают в скрытой форме» [95, с. 36].

3. Топологические аксиомы формируют понятие непрерывности. Здесь не будем углубляться в обсуждение отдельных топологических аксиом (Хаусдорфа): аксиом окрестности, разделимости, объединения и других.

Из топологических аксиом часто выделяется особо аксиома размерности. Постулируется, что пространство-время Минковского 4-мерно (размерность $n = 4$)[1].

Как правило, к этим трем группам аксиом добавляются еще специальные аксиомы, призванные уточнить их привязку друг к другу.

[1] Напомним, что физики-теоретики, начиная с Э.Маха, ставили вопрос: почему пространство 3-мерно? Предпринимались попытки дать физическое обоснование геометрической аксиомы 3-мерности пространства (4-мерности пространства-времени).

В связи с изложенным следует назвать работы Р. И. Пименова по аксиоматике геометрии, причем более общей, нежели геометрия пространства-времени Минковского и даже более общей, чем геометрия эйнштейновской общей теории относительности. В монографии «Пространства кинематического типа (математическая теория пространства-времени)» [92] аксиоматически исследуются геометрии, начиная от наиболее общих (кинематик), основанных на задании множества точек-событий и аксиом частичной упорядоченности, и далее с последовательным добавлением других групп аксиом: топологических, метрических аксиом и на конечной стадии — учета материи, что приводит уже к общей теории относительности. Примерно такая же схема рассуждений использована в работах Моулда и некоторых других авторов. Во всех этих аксиоматиках опять присутствуют три примитива и три названные группы аксиом.

2.8. Принцип фрактальности и метафизика категории пространства-времени

Проявляющаяся в аксиоматиках геометрии троичность (примитивов и блоков аксиом) не является случайностью и в совокупности с другими ее проявлениями позволяет сформулировать **метафизический принцип фрактальности**[1]: **каждая выделенная из целого физическая (метафизическая) категория (часть) в каком-то смысле подобна целому**, т. е. в триалистической парадигме каждая из физических категорий также должна характеризоваться тремя составными частями, соответствующими трем категориям.

Сопоставим названные примитивы геометрии (аксиоматики пространства-времени) с тремя физическими категориями:

1) точка (точка-событие) — категория частиц;
2) интервал (метрика) — категория полей переносчиков взаимодействий;
3) топологические множества — категория пространства-времени.

Первое из названных соответствий не вызывает сомнений, поскольку теория относительности имеет дело именно с событиями, в которых обязательно участвует какая-либо частица. Второе — менее очевидное в

[1] Термин фрактал был введен в 1975 году Бенуа Мандельбротом в его книге «The Fractal Geometry of Nature» для обозначения нерегулярных, но самоподобных структур. Согласно его определению, «Фракталом называется структура, состоящая из частей, которые в каком-то смысле подобны целому».

рамках специальной теории относительности, — становится понятным, если иметь в виду общую теорию относительности, где через компоненты метрического тензора (метрики) описывается гравитационное взаимодействие. В многомерных теориях Калуцы—Клейна метрика ответственна и за появление электромагнитного и других физических полей. Соответствие топологии и самой категории пространства-времени также выглядит довольно естественно.

В конечном счете именно возможность данных соответствий сделала целесообразным использование геометрии как математической модели для описания физики. В каждой из групп геометрических аксиом отражаются закономерности и проблемы соответствующих категорий физики.

Увязка примитивов геометрии с тремя физическими категориями затруднялась неудачным их выбором (точки, прямые, плоскости и т. д.) как в аксиоматике самого Евклида, так и во многих последующих аксиоматиках. Прояснение этого вопроса стало возможным в результате развития теории относительности, как частной, так и общей.

Наиболее радикальные открытия в фундаментальной теоретической физике, по мнению многих исследователей, связаны с изменением представлений о свойствах пространства-времени. Было выполнено значительное число работ, в которых изучались мыслимые физические теории в пространственно-временных многообразиях с другими аксиоматиками. Сейчас трудно указать аксиомы, которые бы не пробовали изменить. Если учесть возможности изменения нескольких аксиом сразу, причем в различных комбинациях, то легко понять, насколько широк спектр обобщений традиционной геометрии, а следовательно и физических теорий.

Однако путь механического перебора возможных изменений и обобщений аксиоматики не дал ожидаемых результатов, что, по нашему мнению, объясняется метафизическим характером аксиоматики геометрии, связанной со всей системой физических парадигм. Как уже отмечалось, имеется восемь парадигм, каждая из которых диктует свой характер аксиоматики, причем не отдельной категории пространства-времени, а обобщенной категории, включающей ее в себя.

Зависимость аксиоматики от принятой парадигмы и стремление к построению теории в рамках монистической парадигмы заставляют вернуться к дискуссии Платона и Аристотеля о сущности аксиоматики. Аристотелем были введены три стороны единого, которые оказались недостаточными для конкретного описания материального мира, — это ему удалось сделать только с помощью привлечения ряда иных (дополнительных) метафизических положений в виде аксиом. В итоге и возник

аксиоматический метод рассуждений по лучу: от системы примитивов и аксиом к конструктивному описанию реальности.

В общепринятом подходе к геометрии не прослеживается связь ее примитивов и аксиом с тремя сторонами аристотелевского триединства, однако она проявляется в бинарной геометрофизике, представляющей монистическую парадигму. (В третьей части будет показано что ее основания (аксиоматика) соответствуют триединству (трем сторонам) мироздания, открытому Аристотелем.)

Таким образом, с полным основанием можно говорить о метафизике категории пространства-времени и других названных выше категорий в отдельности.

2.9. Геометрии с измененной аксиоматикой

Рассмотрим некоторые варианты геометрий с измененной (нетрадиционной) аксиоматикой.

1. В геометрическом и реляционном миропониманиях можно строить аксиоматику теории, опираясь не на аксиомы порядка, а на метрические аксиомы. При этом открывается множество новых геометрий, которые будут рассмотрены во второй и третьей частях этой книги. Здесь же остановимся на возможности построения геометрий, опирающихся на **арифметику с измененными свойствами**. На это обращал внимание П. К. Рашевский: «Натуральный ряд и сейчас является единственной математической идеализацией процессов реального счета. Это монопольное положение осеняет его ореолом некой истины в последней инстанции, абсолютной, единственно возможной, обращение к которой неизбежно во всех случаях, когда математик работает с пересчетом своих объектов. Более того, так как физик использует лишь тот аппарат, который предлагает ему математика, то абсолютная власть натурального ряда распространяется и на физику и — через посредство числовой прямой — предопределяет в значительной степени возможности физических теорий... Быть может, положение с натуральным рядом в настоящее время имеет смысл сравнивать с положением евклидовой геометрии в XVIII веке, когда она была единственной геометрической теорией, а потому считалась некой абсолютной истиной, одинаково обязательной и для математиков, и для физиков. Считалось, само собой понятным, что физическое пространство должно идеально точно подчиняться евклидовой геометрии (а чему же еще?). Подобно этому мы считаем сейчас, что пересчет как угодно больших расстояний в физическом простран-

стве и т. п. должны подчиняться существующим схемам натурального ряда и числовой прямой (а чему же еще?)» [99].

П. К. Рашевский поставил ряд вопросов и высказал гипотезы относительно обобщений координатного пространства, построенного на основе иной аксиоматики арифметики, а в работах В. Л. Рвачева (см. [100]) было показано, что *изменения в представлениях о свойствах натурального ряда уже воплощены в физике в виде закономерностей специальной теории относительности*. Основные результаты его работ касаются не координатного пространства, а пространства скоростей (или импульсного пространства).

Как известно, в множестве вещественных чисел определены две групповые операции: сложения (и обратной — вычитания) и умножения (и обратной — деления). При обычном понимании этих операций их многократное применение приводит к появлению неограниченно больших чисел. Оказывается, можно так изменить определения групповых операций, что в принципе не смогут появиться числа, большие некоторого предельного числа c.

В. Л. Рвачев разработал арифметику с такими свойствами. При этом пришлось переопределить операции сложения и умножения. Новая операция сложения $\oplus$ (вычитания $\ominus$) двух чисел x и y определяется через привычные операции сложения и умножения следующим образом

$$x \oplus y = \frac{x+y}{1+\alpha^2 xy} \quad \rightarrow \quad x \ominus y = \frac{x-y}{1-\alpha^2 xy} \tag{2.9.1}$$

где $\alpha = 1/c$. В этой операции сразу же можно усмотреть проявление релятивистского закона сложения скоростей (2.4.7). По этой причине операция (2.9.1) была названа *релятивистским сложением (вычитанием)*. Она удовлетворяет всем привычным групповым свойствам, т. е. определенные в (2.9.1) операции являются обратными и удовлетворяют свойствам коммутативности ($x \oplus y = y \oplus x$), ассоциативности, для них имеется нуль с обычными свойствами, но, главное, в результате релятивистских сложений не появляются числа, большие $c = \alpha^{-1}$.

В специальной теории относительности фактически ограничиваются одной операцией релятивистского сложения, тогда как в новой арифметике определена и вторая операция — *релятивистское умножение (деление)*, — которая является коммутативной, обладает свойством ассоциативности, для нее определена обратная операция и имеется единица с обычными свойствами.

В рамках релятивистской арифметики [100] были определены известные функции: степенная, экспоненты, логарифмы, тригонометрические

и другие. Более того, в теории, опирающейся на релятивистскую арифметику, вводятся специфические *релятивистские производные и интегралы*, обладающие свойствами соответствующих операций в общепринятом математическом анализе.

Отметим, что в современной физике пока не нашла применение в полном объеме развитая Рвачевым релятивистская арифметика. Возможно, это будет сделано в будущем. Для физики (точнее, для метафизики) важное значение имеет сам факт существования релятивистской арифметики. «Классическому случаю, — отмечает В. Л. Рвачев, — соответствует значение $\alpha = 0$, и только в этом случае возникает в математике бесконечность. Выходит, что появлению этой (потенциальной) бесконечности математика обязана именно «рукам человеческим» или точнее — пальцам, с помощью которых люди научились считать. В принципе же, как это следует из приведенных результатов, для построения математики (впрочем, мы вправе говорить только о прикладной математике) допустимы, как мы видим, и другие пути, без бесконечности с порождаемыми ею парадоксами и различного рода монстрами. Прав был П. К. Рашевский, когда выступал против догматического взгляда на натуральный ряд. Что же касается ответа на вопрос, к каким последствиям для физических теорий может привести разрушение «монопольного положения натурального ряда», то его должны дать физики» [100].

В последних работах В. Л. Рвачева была предпринята попытка применить новую арифметику к координатному пространству и на этой основе дать иную интерпретацию известных наблюдений по космологическому красному смещению в спектрах излучения от далеких астрофизических объектов.

2. В физическом и реляционном миропониманиях во главу угла ставятся не вещественные, а **комплексные числа**, т. е. существенно меняется характер метрических аксиом. Такое изменение аксиоматики означает отказ от аксиомы Архимеда (о сравнении отрезков), поскольку в поле комплексных чисел теряется понятие больше-меньше. Комплексная метрика используется в бинарной геометрофизике (см. часть III).

3. В геометрическом миропонимании кроме топологии пространства-времени Минковского используются **топологии** сферы, тора, цилиндра. В теориях Калуцы—Клейна изменяется аксиома размерности. (Такие геометрии будут рассмотрены во второй части книги.)

4. В литературе широко обсуждались идеи **дискретного пространства-времени** (см. [29]), связанные с отказом от топологических аксиом

континуальности. Отметим, что в вопросе о делимости пространства-времени имеются три точки зрения:

1) *Пространство и время (вместе или раздельно) делятся до бесконечности.* Эта позиция лежит в основе представлений о непрерывном пространстве-времени и широко используемого в физике математического аппарата дифференциального и интегрального исчисления.
2) *Имеется предел делимости пространства-времени.* Отсюда следуют идеи о дискретности или о квантовании пространства-времени. Обсуждалось несколько вариантов теорий такого типа:
   а) физические теории в рамках ячеистого пространства (или пространства-времени);
   б) теория пространства (-времени) с минимальной длиной (физические теории с максимальным импульсом);
   в) теории квантованного пространства-времени, где координаты заменяются операторами (например, теория Снайдера).
3) *Макроскопический подход к природе пространства-времени*, согласно которому понятие классического пространства-времени теряет смысл в микромире, где имеют место принципиально иные закономерности, из которых привычные пространственно-временные представления возникают лишь при переходе к достаточно массивным (классическим) объектам.

В бинарной геометрофизике (см. часть III) использована именно третья точка зрения на природу классического пространства-времени.

Опираясь на изложенное, можно говорить о редукционнистском подходе к категории пространства-время по нескольким позициям. Придерживаясь терминологии Аристотеля, выделим редукционизм по сущности, по качеству и по количеству. *Редукционизм по сущности* соответствует рассмотренному выше выделению из категории пространства-времени примитивов и блоков аксиом. К *редукционизму по качеству* можно отнести разделение геометрий пространства-времени по разным видам: евклидова геометрия, геометрия Лобачевского, риманова геометрия и т. д. Этот вопрос более подробно рассмотрен во второй части. Наконец, *редукционизм по количеству* соответствует делению всего пространства-времени на области, подобласти, окрестности. Очевидно, представления о частных видах геометрий и о характере делимости заложены в используемой аксиоматике.

Глава 3

Поля переносчиков взаимодействий

На рубеже XIX и XX веков категория пространства (точнее, пространства-времени) была очищена от понятия эфира, как особой материальной среды, заполняющей его и передающей взаимодействия от одних тел к другим. Однако при этом была введена новая категория — полей переносчиков взаимодействия, распространяющихся по пространству (в пространстве-времени).

Характерно, что на новой основе фактически повторилась квазирелигиозная история, о которой писал Я. И. Френкель, только теперь вместо множества богов-эфиров стали вводить различные поля: электромагнитное, гравитационное, слабые (Z-бозонные, W-бозонные), глюонные и другие. В XX веке наблюдался процесс их слияния, как ожидалось, в поле единой теории физических взаимодействий. Физики-теоретики трудились над созданием теории великого объединения — нового «физического бога» полевой природы.

Сложившаяся к концу XX века система представлений о полях переносчиков взаимодействий содержит в себе сведения из теорий разных парадигм: от триалистической, до монистической. Это обстоятельство должно учитываться при осмыслении сути физических проблем и на выборе путей их решения.

В представлениях о категории полей переносчиков взаимодействий в полной мере проявляются закономерности метафизики, в частности, имеет место принцип фрактальности, позволяющий говорить о «внутренней» метафизике этой категории, отражающей все стороны целостного мира.

Первая часть данной главы посвящена вопросам категории полей переносчиков взаимодействий в рамках триалистической парадигмы, затем рассмотрены метафизические аспекты бозонных полей в дуалистической парадигме физического миропонимания.

3.1. Концепция близкодействия

Полевое описание природы опирается на априорное задание *непрерывного* пространства-времени и основано на *концепции близкодействия*, согласно которой взаимодействие между частицами (телами) осуществляется либо через непосредственный контакт, либо, если они разнесены в пространстве, — через поля-посредники. Это означает, что тела, являющиеся источниками полей, возбуждают их в своей непосредственной окрестности. Распространяясь от одной частицы к другой, поля последовательно проходят все точки пространства между ними. Частицы воспринимают воздействие со стороны других частиц через поля, достигающие их окрестности. Таким образом, концепция близкодействия может быть представлена следующей принципиальной блок-схемой:

$$\boxed{\begin{array}{c}\text{(П-В) Непрерывное пространство-время}\\ \text{(Частица)} \;\rightarrow\; \text{(Поле)} \;\rightarrow\; \text{(Частица)}\end{array}} \tag{3.1.1}$$

В приведенной формуле присутствуют все три ключевые физические категории триалистической парадигмы, которые предполагаются в значительной степени независимыми. Во всяком случае, допустимо рассмотрение полей как независимой сущности (в пространстве-времени) и отдельно свободных (невзаимодействующих) частиц.

Школьная программа по физике и курс общей физики нередко оставляют превратное впечатление, что взаимодействия до сих пор описываются в терминах сил и второго закона Ньютона, хотя эти типичные для XVII века представления были заменены уже в XVIII и XIX веках на более глубокие понятия и принципы. Уже давно в физике (в аналитической механике) было введено замечательное понятие — *физическое действие* S, точнее ΔS, связывающее два состояния (в два момента времени) системы из частиц и полей. Зная выражение для действия системы, из него по известным правилам можно получить всю информацию об этой системе: уравнения движения, сохраняющиеся величины и многое другое.

Принципиальная блок-схема (3.1.1) для двух взаимодействующих частиц, отмечаемых индексами 1 и 2 соответственно, представляется через отдельные слагаемые полного действия системы следующим образом:

$$S_{12} = [S_0(1) + S_{int1}] \quad + \quad (S_F) \quad + \quad [S_{int2} + S_0(2)], \tag{3.1.2}$$

где $S_0(1)$ и $S_0(2)$ действия для двух свободных частиц, S_F — действие для поля, переносящего взаимодействия, S_{int1} и S_{int2} слагаемые действия, описывающие соответственно взаимодействия с полем первой и второй частиц.

Собирая вместе слагаемые для двух свободных частиц ($S_0 = S_{01} + S_{02}$) и слагаемые, описывающие их взаимодействия с полем ($S_{int} = S_{int1} + S_{int2}$), приходим к иной записи выражения (3.1.2):

$$S_{12} = S_0 + S_F + S_{int}. \tag{3.1.3}$$

Последняя часть наиболее существенная, поскольку о самих частицах и полях можно судить лишь по результатам их взаимодействия.

В физике имеется важный *принцип экстремальности (наименьшего) действия*, согласно которому для действительного движения системы между двумя состояниями действие принимает экстремальное значение. Из этого принципа, записываемого в виде $\delta S = 0$, находятся уравнения движения частиц и полей, как свободных, так и взаимодействующих друг с другом. Обычно действие S представляется в виде интеграла от некоторой плотности $\mathcal{L}$, именуемой функцией Лагранжа, по 4-мерному объему между двумя состояниями (двумя моментами времени)

$$S = \int_{\tau_1}^{\tau_2} \mathcal{L}(\psi, A_N) d^4x, \tag{3.1.4}$$

где функция Лагранжа зависит от характеристик (волновых функций и их производных) частиц ψ и потенциалов полей A_N (и их производных) переносчиков взаимодействий. Для записи действия достаточно найти вид функции Лагранжа[1], которая оказывается также представимой в виде (3.1.3), т. е. в форме

$$\mathcal{L}(\psi, A_N) = \mathcal{L}_0(\psi) + \mathcal{L}_F(A_N) + \mathcal{L}_{int}(\psi, A_N). \tag{3.1.5}$$

Из принципа экстремальности действия следуют уравнения Лагранжа, т. е. уравнения движения соответствующих частиц и полей.

В первых томах знаменитого многотомника теоретической физики Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшица (см. [68]) была предпринята попытка изложить основы теоретической физики исходя из принципа действия. Затем эта линия рассуждений была продолжена Н. Н. Боголюбовым и Д. В. Ширковым в их книге «Введение в теорию квантованных полей» [9] и в ряде других известных работ по теоретической физике второй половины XX века.

[1] Напомним, что в нерелятивистской механике действие представляется в виде

$$S = \int_{t_1}^{t_2} L(q_i, dq_i/dt, t) dt,$$

где $L(q_i, dq_i/dt, t)$ — функция Лагранжа, зависящая от обобщенных координат q_i, времени t и обобщенных скоростей dq_i/dt механической системы. Она выражается в виде разности кинетической и потенциальной энергий системы.

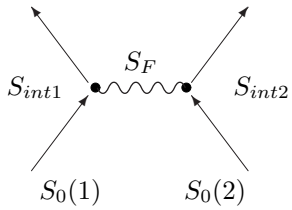

Рис. 3.1. Простейшая двухвершинная диаграмма Фейнмана

Следует особо остановиться на психологических трудностях восприятия физики исходя из понятия действия. Автор этой книги столкнулся с ними как на своем опыте, так и в процессе преподавания теории относительности студентам[1]. Трудности в усвоении принципа экстремальности (наименьшего) действия заставляют вспомнить о размышлениях и острых дискуссиях в истории физики, которые начались с XVII века в связи с работами Пьера Ферма, сформулировавшего «принцип экономии в природе», который был применен в оптике для вывода законов преломления и отражения света. Этот принцип широко использовал Гюйгенс, называвший его «феноменом Ферма». Но у этой теории было и много противников. В XVIII веке дискуссии вспыхнули с новой силой в связи с работами Пьера Луи Моро де Мопертюи, распространившего принцип Ферма на механику и на всю природу. Обобщенный принцип, названный позже принципом Мопертюи, гласил: если в природе происходит какое-нибудь изменение, то необходимое для этого количество действия всегда имеет возможно меньшую величину. Под количеством действия Мопертюи понимал произведение импульса на пройденный путь.

В работах по квантовой теории поля принципиальная блок-схема концепции близкодействия (3.1.1) иллюстрируется с помощью диаграмм фейнмановского типа. На приведенной на рисунке 3.1 диаграмме пря-

[1] В 1957 году на физическом факультете МГУ курс теоретической механики читал академик Л. Д. Ландау. Уже в начале первой лекции он ввел функцию Лагранжа и из нее стал выводить уравнения движения механических систем. Все это воспринималось как мистика, потому что не нужно было думать о том, какие силы действуют на систему, куда они приложены, имеются ли сохраняющиеся величины и о многом другом, к чему мы привыкли, решая задачи на основе уравнений Ньютона. Оказалось, что все это было излишним. Достаточно записать функцию Лагранжа, и все получается почти автоматически. У многих студентов «голова пошла кругом». Наш курс, наверное, оказался единственным в истории физического факультета МГУ, которому лекции по теоретической механике читались дважды: сначала академиком Л. Д. Ландау, а затем перечитывался доцентом В. В. Петкевичем в духе традиционно сложившейся программы по аналитической механике.

мые (фермионные) линии изображают две частицы (они описываются слагаемыми в действии S_0), волнистая линия соответствует полю переносчиков взаимодействий (определяется слагаемым S_F), а выделенные точки — вершинные части — обозначают слагаемые, которые представлены выражениями S_{int}. Изгибы сплошных фермионных линий олицетворяет факт взаимодействия, в результате которого изменяюся траектории частиц.

Поскольку обе частицы (если они одинаковые) содержатся в действии симметричным образом, то достаточно подробно рассмотреть лишь одну вершинную часть, играющую ключевую роль в описании взаимодействия. Как правило, в вершинных частях сходятся два прямых отрезка, соответствующих волновым функциям двух фермионов: ψ до взаимодействия и $\overline{\psi}$ после взаимодействия, и одна волнистая линия потенциала A_N бозонного поля — переносчика взаимодействий. Математически это описывается вкладом в функцию Лагранжа вида

$$\mathcal{L}_{int} = \overline{\psi}\Gamma^N \psi A_N, \tag{3.1.6}$$

где Γ^N — некоторое выражение (оператор), зависящий от тензорной размерности N бозонного переносчика взаимодействий. Главная задача в описании взаимодействий состоит в конкретизации A_N и задании соответствующих выражений Γ^N. Для разных видов физических взаимодействий эти величины разные.

Физическое действие и соответствующая функция Лагранжа должны быть релятивистски инвариантными, т. е. быть скалярами относительно преобразований Лоренца. Кроме того, на эти величины должно быть наложено условие инвариантности (независимости) относительно групп некоторых внутренних симметрий. Различие фундаментальных физических взаимодействий связывается с группами внутренних симметрий.

3.2. Электромагнитное поле

Электромагнитное взаимодействие лежит в основе большинства процессов окружающего нас мира — от масштабов нашей планеты до атомов и молекул. Именно благодаря ему материя связана в вещество и тела. Видимо, не будет преувеличением утверждать, что классические пространственно-временные представления самым непосредственным образом обусловлены электромагнитным взаимодействием.

Теория электромагнитных взаимодействий представляет собой объединенную в XIX веке теорию электрических и магнитных взаимодей-

ствий. Дж. Максвелл в свое время мог бы сказать в духе известного заявления Г. Минковского: «Милостивые господа! Воззрения на электростатические и магнитные взаимодействия, которые я намерен перед вами развить, возникли на экспериментально-физической основе. В этом их сила. Их тенденция радикальна. Отныне электростатическое взаимодействие само по себе и магнитное взаимодействие само по себе должны обратиться в фикции, и лишь некоторый вид соединения обоих должен сохранить самостоятельность». Следует подчеркнуть, что заявление Г. Минковского об объединении пространства и времени стало возможным только после слияния двух взаимодействий, казавшихся независимыми, в единое электромагнитное взаимодействие. Это произошло во второй половине XIX века, когда в работах Г. Герца и других ученых была доказана электромагнитная природа света, а затем благодаря исследованиям М. Фарадея и Дж. Максвелла были открыты уравнения электромагнитного поля, носящие в настоящее время имя Максвелла.

Фундаментальные уравнения физики, такие как уравнения Максвелла, не выводятся, а открываются и становятся постулатами теории. «Мы открыли текст, написанный рукой Бога!» — так выразил свое отношение к этим уравнениям Герц.

Уравнения Максвелла всем хорошо известны и могут быть представлены в различных формах. В наиболее простом виде, подчеркивающем их волновой характер, они записываются для 4-мерного векторного потенциала A_α:

$$\eta^{\mu\nu}\frac{\partial^2 A_\alpha}{\partial x^\mu \partial x^\nu} = \frac{4\pi}{c} j_\alpha, \tag{3.2.1}$$

где $\eta_{\mu\nu}$ — метрический тензор пространства-времени Минковского (в декартовых координатах), j_α — плотность 4-мерного тока (частиц) источников поля. Компоненты электромагнитного векторного потенциала определены неоднозначно, на них накладываются дополнительные условия Лоренца, соответствующие поперечности электромагнитного излучения:

$$\frac{\partial A^\alpha}{\partial x^\alpha} = 0. \tag{3.2.2}$$

Заметим, что векторный характер электромагнитного потенциала в специфическом виде отражает 4-мерность пространства-времени. Отметим также, что в самом общем виде релятивистски инвариантные волновые уравнения для других полей, описываемых потенциалами B_M,

где M — обобщенный индекс, характеризующий компоненты поля, представляются в аналогичном виде

$$\eta^{\mu\nu}\frac{\partial^2 B_M}{\partial x^\mu \partial x^\nu} = \frac{4\pi}{c}J_M, \tag{3.2.3}$$

где J_M — источник соответствующего поля. Проще всего это уравнение записывается для скалярных полей (без индексов).

Уравнения электромагнитного поля (3.2.1) чаще представляются в иной форме — в виде системы дифференциальных уравнений первого порядка для напряженностей электромагнитного поля

$$F_{\mu\nu} = \frac{\partial A_\nu}{\partial x^\mu} - \frac{\partial A_\mu}{\partial x^\nu}. \tag{3.2.4}$$

В тензорной форме система уравнений Максвелла записывается в виде

$$\frac{\partial F_{\mu\nu}}{\partial x^\lambda} + \frac{\partial F_{\nu\lambda}}{\partial x^\mu} + \frac{\partial F_{\lambda\mu}}{\partial x^\nu} = 0; \tag{3.2.5}$$

$$\frac{\partial F^{\mu\nu}}{\partial x^\nu} = \frac{4\pi}{c}j^\mu. \tag{3.2.6}$$

Это первая и вторая пары уравнений Максвелла. Легко убедиться, что первая пара (без источников) выполняется тождественно, если в (3.2.5) подставить определение напряженностей через векторные потенциалы согласно (3.2.4). Вторая пара (3.2.6) при учете (3.2.2) совпадает с (3.2.1).

Более широко известна запись уравнений Максвелла в векторной форме для напряженностей электрического $\vec{E} \to F_{0k}$ и магнитного $\vec{H} \to (F_{23}, F_{31}, F_{12})$ полей. В ряде ситуаций можно выбрать такую систему отсчета, в которой будут отличны от нуля только компоненты напряженности электрического поля. Переход в движущуюся систему отсчета приводит к появлению напряженности магнитного поля. В этом смысле иногда говорят, что магнитное поле представляет собой релятивистские поправки к электрическому полю.

Чаще теория электромагнитных взаимодействий излагается в обратном порядке, т. е. начинают с нерелятивистских выражений и постепенно восходят к релятивистским, как к некоему венцу, как бы упрощающему запись всех соотношений. Излагаемый здесь подход соответствует пониманию пространства-времени как единой категории, что диктует использование релятивистски инвариантных исходных выражений и, в случае надобности, спуск от них к 3-мерным понятиям в той или иной системе отсчета.

Как известно, в аксиоматике одни постулаты можно заменить на другие, в этом случае постулаты в прежней аксиоматике превращаются в теоремы. Сейчас принято исходить не из уравнений, а из лагранжиана $\mathcal{L}$ или из действия S, а затем из них по известным правилам (вариационным методом) выводить уравнения движения и полей, т. е. уравнения как постулат заменяются видом лагранжиана. Так, для электромагнитного поля таковым является

$$\mathcal{L}_F = -\frac{1}{16\pi} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu}. \tag{3.2.7}$$

Лагранжиан взаимодействия электромагнитного поля с частицами можно получить, пользуясь универсальным правилом — нужно заменить производные по координатам в лагранжиане для частиц (фермионнных полей или частиц) на так называемые «удлиненные производные», содержащие электромагнитный векторный потенциал:

$$\frac{\partial}{\partial x^\mu} \to \partial^\dagger_\mu = \frac{\partial}{\partial x^\mu} + \frac{iq}{c\hbar} A_\mu, \tag{3.2.8}$$

где q — электрический заряд частиц или тела, c — скорость света, $\hbar$ — постоянная Планка. Это приводит к вкладу в лагранжиан взаимодействия с электромагнитным полем вида

$$\mathcal{L}_{int} = \frac{1}{c} j^\mu A_\mu. \tag{3.2.9}$$

Строя действие (3.1.3) из слагаемых (3.2.7) и (3.2.9) и применяя вариационный метод, можно получить записанные выше уравнения Максвелла в любой форме.

Здесь были приведены далеко не все описания электромагнитного поля, представленные в научной литературе. По этому поводу Р.Фейнман в своей Нобелевской лекции сказал: «То, что электродинамику можно построить столькими различными способами, — на основе дифференциальных уравнений Максвелла, на основе различных принципов наименьшего действия с полями, на основе различных принципов наименьшего действия без полей, всеми различными способами, — об этом я знал, но никогда не понимал этого до конца. Мне всегда казалось странным, что самые фундаментальные законы физики после того, как они уже открыты, все-таки допускают такое невероятное многообразие формулировок, по первому впечатлению неэквивалентных, и все же таких, что после определенных математических манипуляций между ними всегда удается найти взаимосвязь... Я не знаю, что должно означать это желание природы выбирать такие любопытные формы, но, может быть, в этом и

состоит определение простоты. Может быть, вещь проста только тогда, когда ее можно исчерпывающим образом охарактеризовать несколькими различными способами, еще не зная, что на самом деле ты говоришь об одном и том же» [119, с. 207]. Здесь имелись в виду еще и представленные в других миропониманиях способы описания электромагнетизма, которые будут рассмотрены ниже.

3.3. Гипотеза единой нелинейной бозонной теории поля

Идея поля оказалась настолько богатой и привлекательной для физиков, что в XX веке она поглотила в себе и категорию частиц, которые в квантовой теории стали описываться также посредством полей. Таким образом под прежним термином «поле» в квантовой теории стали понимать новую, обобщенную (метафизическую) категорию уже в *дуалистической парадигме физического миропонимания*. В ней поле приобрело качественно иной характер — стало амплитудой вероятности обнаружения квантованной частицы в соответствующих местах пространства-времени. Разница между прежними двумя категориями проявляется лишь в значении спина полей: поля целочисленного спина — *бозонные* — описывают прежнюю категорию полей переносчиков взаимодействий, а поля полуцелого спина — *фермионные* — категорию частиц.

Наличие нескольких видов полей — фермионных и бозонных — многим физикам представлялось как недостаток теории. Уже в XIX веке были начаты попытки построения всей физики на основе одного векторного поля, каковым виделось электромагнитное поле. Была выдвинута программа описания частиц как неких сгустков обобщенного (нелинейного) бозонного поля в (плоском) пространстве-времени. Очевидно, что данная программа имела метафизический характер, так как затрагивала вопрос о числе ключевых категорий физики — была нацелена на переход от трех категорий (триалистической парадигмы) ньютоновой физики к *дуалистической парадигме (геометрического миропонимания)*, опирающейся на категории пространства-времени и полей переносчиков взаимодействий. В ней названные две категории фактически берут на себя роль третьей категории (частиц).

Соответствующую данной программе дуалистическую парадигму можно наглядно изобразить в виде двух граней куба, пересекающихся вдоль оси категории частиц. Неслучайно сторонники геометрического миропонимания (в экстремальной монистической форме) отрабатывают

на подобных теориях ряд промежуточных моделей на пути к единой геометрической картине мира.

Чтобы решить поставленную задачу, необходимо использовать нелинейные уравнения бозонного поля, содержащие квадратичные и более высоких степеней слагаемые из потенциалов поля, описывающие его воздействия на самого себя. Благодаря им поле как бы держит самого себя в виде некоторого сгустка в пространстве-времени, что предлагается трактовать как частицу. Это направление исследований начало формироваться еще в XIX веке на основе идеи об электромагнитной природе материи и имело множество сторонников в XX веке. Назовем несколько наиболее известных вариантов подобных теорий.

1. Примерно в 1912 году Г. Ми была создана нелинейная теория, согласно которой энергия вещества, сами заряды и их свойства имеют электромагнитное происхождение. Исходя из этого, теория строилась на основе плотности лагранжиана

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{16\pi} F^{\mu\nu} F_{\mu\nu} + f(A), \tag{3.3.1}$$

где $f(A)$ — некоторая функция инварианта от электромагнитного векторного потенциала $A = \pm\sqrt{A_\mu A^\mu}$. Сравнивая (3.3.1) с (3.1.5), легко видеть, что последнее слагаемое справа призвано заменить лагранжиан частиц. Из (3.3.1) стандартными методами получается нелинейное обобщение уравнений Максвелла.

2. Несколько позднее, в 30-х годах, М. Борном и Л. Инфельдом был предложен другой, более совершенный вариант нелинейной электродинамики. В частности, в нем некалибровочно инвариантный член с векторным потенциалом был заменен на нелинейное выражение из напряженностей электромагнитного поля. Плотность лагранжиана (в пространстве-времени Минковского) была выбрана в виде

$$\mathcal{L} = \left(\sqrt{-F} - b^4\sqrt{-\eta}\right), \tag{3.3.2}$$

где F обозначает определитель (детерминант), построенный из компонент тензора $b\eta_{\mu\nu} + F_{\mu\nu}$:

$$F = \begin{vmatrix} b & F_{01} & F_{02} & F_{03} \\ F_{10} & -b & F_{12} & F_{13} \\ F_{20} & F_{21} & -b & F_{23} \\ F_{30} & F_{31} & F_{32} & -b \end{vmatrix}, \tag{3.3.3}$$

а η — определитель, построенный из компонент $\eta_{\mu\nu}$ — метрики пространства-времени Минковского. Здесь b — некая размерная константа. Этот вариант теории до сих пор обсуждается рядом исследователей.

3. В литературе известен также ряд упрощенных идеализированных вариантов, когда вместо многокомпонентного электромагнитного поля рассматривалось нелинейное скалярное поле, т. е. нелинейное обобщенное уравнение Клейна—Фока. На эти теории можно смотреть как на предварительные, модельные, на которых отрабатываются некоторые принципиальные аспекты данной программы. В настоящее время подобные исследования тесно связаны с поиском так называемых солитонных решений. По этой теме имеется довольно обширная литература (см., например, [53]). Во второй половине XX века в рамках этого подхода проводилась работа в группах ряда отечественных исследователей: Я.П.Терлецкого, К. П. Станюковича, В. Н. Мельникова и других.

4. В XX веке значительное внимание уделялось нелинейным скалярным и электромагнитным уравнениям в искривленном пространстве-времени. В этом случае к нелинейным уравнениям физических полей добавляются уравнения Эйнштейна, также нелинейные. Поскольку исходные поля входят в уравнения Эйнштейна и тем самым искривляют пространство-время, то эффекты нелинейности усиливаются. Полагалось, что подобные программы имеют значительно больше шансов на успех. Отметим, что в этих работах используются понятия из разных видений мира: часть полей берется геометризованными (геометрическое видение), а другая часть имеет самостоятельный характер. Некоторые физики сознательно идут на использование такой двойственной природы полей, рассматривая подобные конструкции как предвариательные, вспомогательные модели искомой теории.

Теории (точнее, программы) данной парадигмы встретились с рядом существенных трудностей, главная из которых связана с неустойчивостью, т. е. с расплыванием во времени солитонных решений — полевых сгустков, моделирующих элементарные частицы. Даже если бы удалось решить проблему устойчивости, то далее пришлось бы преодолевать другие, не менее серьезные проблемы. Прежде всего, следует назвать проблему квантования нелинейной теории, — в ней нарушается принцип суперпозиции. Имеются также трудности с описанием спинорных частиц, с формулировкой принципа причинности и другие. Тем не менее, сторонники этой парадигмы, завороженные большими возможностями нелинейных уравнений поля, считают трудности временными и не теряют надежду, что их удастся преодолеть.

3.4. Метафизика категории полей переносчиков взаимодействий

В рамках триалистической парадигмы несложно усмотреть проявление принципа фрактальности, который был сформулирован в предыдущей главе. Рассматривая метафизику категории полей переносчиков взаимодействий, отметим, что уже *в самом определении поля проявляется свойство фрактальности*, т. е. в нем отражены все три ключевые физические категории: во-первых, это **функция на непрерывном пространственно-временном многообразии**, — в этом можно усмотреть проявление категории пространства-времени, во-вторых, это **числовая функция**, что, как и метрику, будем относить к проявлениям самой категории полей переносчиков взаимодействий, в-третьих, **аргументом** этой функции является точка, олицетворяющая собой категорию частиц.

Метафизические закономерности в виде проявлений троичности (и двоичности) можно усмотреть внутри каждого из названных трех факторов (аргумент, числовая функция, непрерывная область определения), составляющих понятие полевой функции. Рассмотрим эти три фактора в отдельности.

1. Числовая функция — поля переносчиков взаимодействий. Примечательно, что все поля (исключая гравитационное), переносящие электрослабые и сильные взаимодействия, являются векторными, т. е. характеризуются четырьмя компонентами (числовыми значениями). Поскольку в определение метрики пространства-времени Минковского заложена двоичность в виде сигнатуры и троичность — через размерность пространства, то эти же свойства отражены и в векторном характере полей переносчиков взаимодействий.

Векторные потенциалы непосредственно не наблюдаемы. Измеримыми являются компоненты тензора напряженности $F_{\mu\nu}$ соответствующих векторных полей. Для электромагнитного поля они хорошо известны, — это компоненты напряженности электрического и магнитного полей, которые используются даже чаще, чем в симметричной тензорной форме. Напомним эти выражения, представив компоненты тензора $F_{\mu\nu}$ в виде 4×4-матрицы:

$$F_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} 0 & E_1 & E_2 & E_3 \\ -E_1 & 0 & H_3 & -H_2 \\ -E_2 & -H_3 & 0 & H_1 \\ -E_3 & H_2 & -H_1 & 0 \end{pmatrix}, \qquad (3.4.1)$$

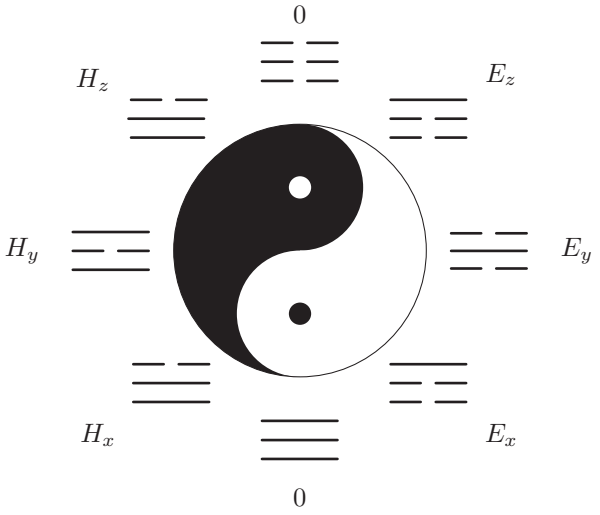

Рис. 3.2. Соответствие компонент напряженности электромагнитного поля китайской системе триграмм

где $E_k = F_{0k}$ — 3-мерный вектор напряженности электрического поля и $H_1 = F_{23}$, $H_2 = F_{31}$, $H_3 = F_{12}$ компоненты напряженности магнитного поля.

Возвращаясь к древней китайской системе триграмм, отметим, что шесть компонент двух векторных полей можно сопоставить с шестью китайскими триграммами со смешанными отрезками. Для этого достаточно перенумеровать отрезки триграмм цифрами: 1, 2, 3 и условиться, что компоненты напряженностей двух полей соотносятся с теми триграммами, у которых, например, сплошные отрезки представлены с соответствующими числами. Тогда слева будут располагаться напряженности магнитного поля, а справа — электрического поля (см. рис. 3.2). В двух полюсах системы триграмм следует поместить нули.

2. Область определения, пространство-время. Введенные выше волновые уравнения можно воспринимать как некие условия вложения категории полей в классическое пространство-время. Любопытно отметить, что для векторных полей имеет место именно восьмерка волновых уравнений. Действительно, для электромагнитного поля эти уравнения в тензорном виде записаны в (3.2.5) и (3.2.6), а в 3-мерной форме они представляются в хорошо знакомом виде, где первая пара уравнений Максвелла

$$rot\vec{E} = -\frac{1}{c}\frac{\partial \vec{H}}{\partial t}; \qquad div\vec{H} = 0, \tag{3.4.2}$$

а вторая пара уравнений Максвелла

$$rot\vec{H} = \frac{1}{c}\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \frac{4\pi}{c}\vec{j}; \qquad div\vec{E} = 4\pi\rho. \tag{3.4.3}$$

Аналогичным образом уравнения с роторами сопоставим с триграммами со смешанными отрезками, а два оставшихся уравнения с дивергенциями — соотнесем с двумя триграммами в полюсах рисунка 3.2.

3. Аргумент — категория частиц. Эта составляющая категории полей проявляется в процессе взаимодействия с частицами в отдельных местах («точках») пространства-времени, наиболее рельефно выступая в квантовой физике, где имеет место корпускулярно-волновой дуализм. Поля переносчиков взаимодействий квантуются и обнаруживаются в виде отдельных квантов. В рамках *триалистической парадигмы*, где поле трактуется самостоятельной категорией, реально существующей в различных точках пространства-времени, квантовые процессы обнаружения поля ассоциируются с так называемой проблемой «редукции волнового пакета», когда поле, достигшее разных точек пространства-времени, якобы схлопывается в месте его обнаружения со скоростями, превышающими скорость света.

Этот парадокс снимается в дуалистической парадигме физического миропонимания.

В представлениях о категории полей переносчиков взаимодействий опять можно выделить редукционистские подходы по сущности, по качеству и по количеству. Изложенное выше в этом параграфе следует отнести к *редукционистскому подходу по сущности*.

Редукционизм по качеству естественно связать с разделением бозонных полей на электромагнитное, поля переносчиков слабых, сильных и гравитационных взаимодействий, т. е. с *четырьмя* известными видами фундаментальных физических взаимодействий: электромагнитным, слабым, сильным и гравитационным.

Следуя принципу фрактальности, поля переносчиков взаимодействий можно разбить на три части. К полю, олицетворяющему собой всю категорию полей, следует отнести классическое электромагнитное поле. Другое классическое (также медленно убывающее с расстоянием) гравитационное поле, как показала общая теория относительности, должно быть соотнесено с категорией пространства-времени, а все остальные поля: глюонные, Z-, W-бозонные, не проявляющиеся на значительных расстояниях, тогда следует сопоставить с категорией частиц.

В XX веке были затрачены значительные усилия, во-первых, на теоретическое обоснование именно данных взаимодействий и, во-вторых,

на сведение их к меньшему числу, — в пределе к единому бозонному полю, что соответствует объединению всех известных взаимодействий. При решении данных задач проявились общие черты метафизики, однако вскрылись и особенности. Главная из них состоит в том, что наблюдаются не три, а четыре вида фундаментальных физических взаимодействий. Анализ достижений физики элементарных частиц показывает, что *более первичными следует считать три вида фундаментальных взаимодействий: электромагнитное, слабое и сильное*, которые, согласно калибровочным моделям, переносятся векторными промежуточными полями. Гравитационное взаимодействие занимает особое положение, — есть достаточно веские основания считать, что гравитация имеет индуцированный характер, т. е. обусловлена другими видами взаимодействий.

В рамках дуалистической парадигмы физического миропонимания были получены замечательные результаты в виде калибровочных моделей электрослабых и сильных взаимодействий, однако встретились новые концептуальные проблемы, свидетельствующие о том, что поставленные задачи могут быть решены лишь в рамках еще более общей — *монистической парадигмы.*

Редукционизм по количеству категории полей переносчиков взаимодействий имеет дело с вопросами делимости полей. Здесь можно выделить три позиции:

1. *Поле делится на любые сколь угодно малые части.* Этот подход типичен для классической физики в триалистической парадигме.
2. *Имеется предел делимости поля.* Этот предел делимости установлен в квантовой теории поля (в дуалистической парадигме физического миропонимания) в виде кванта действия[1].
3. *Вопрос не имеет смысла, поскольку поля переносчиков взаимодействия не являются самостоятельной реальностью, а представляют собой лишь фиктивные вспомогательные понятия.* Данный подход развит в теории прямого межчастичного взаимодействия (см. часть III).

[1] Следует различать обнаружимость сколь угодно слабого воздействия поля от задания амплитуды вероятности обнаружения воздействия с помощью принципа суперпозиции отдельных, в том числе вкладов, ничтожно малых по амплитуде. В последнем случае речь идет о сложении комплексных величин, для которых понятия больше или меньше теряют силу.

3.5. Гравитационное поле

Во Введении уже называлась *дуалистическая парадигма геометрического миропонимания*, где категории пространства-времени и полей переносчиков взаимодействий объединяются в рамках обобщенной категории — искривленного пространства-времени. Первым примером теории такого рода явилась общая теория относительности Эйнштейна, где было геометризовано гравитационное поле. Геометрические теории

обсуждены во второй части книги, однако имеется возможность описывать гравитационное поле и в рамках других парадигм, в частности, триалистической. При этом всякий раз проявляются особенности гравитационного взаимодействия, выделяющие его из ряда других видов взаимодействий, причем оказывается, что за отдельными математическими особенностями: числом компонент поля, нелинейностью, — кроятся концептуальные проблемы метафизического характера. Рассмотрим описание гравитационного поля в рамках триалистической парадигмы.

Гравитационное взаимодействие — «сила, что движет мирами» — доминирует в управлении поведением массивных объектов, когда оказываются уравновешенными электрические и другие свойства отдельных частиц. В частности, оно господствует в астрономических масштабах: от планет Солнечной системы и выше — вплоть до управления эволюцией всей Вселенной. В микромире вклад гравитации слишком мал по сравнению с другими тремя видами взаимодействий.

Как известно, закон всемирного тяготения Ньютона между двумя телами с массами m_1 и m_2

$$F_{grav} = -G\frac{m_1 m_2}{r^2} = m_1\frac{\partial\varphi}{\partial r} \tag{3.5.1}$$

можно вывести с помощью уравнения Лапласа для скалярного гравитационного потенциала с источником

$$\eta^{ij}\frac{\partial^2\varphi}{\partial x^i \partial x^j} \equiv \nabla^2\varphi = 4\pi G\rho, \tag{3.5.2}$$

где ρ — плотность материи, η^{ij} — метрический тензор 3-мерного евклидова пространства, $G = 6,67\cdot 10^{-8}\text{см}^3\cdot\text{г}^{-1}\cdot c^{-2}$ — ньютонова гравитационная постоянная. Данное уравнение совпадает с уравнением (3.2.6) для случая скалярного поля φ, не зависящего от времени (для статического поля).

Отметим, что закон для электростатических взаимодействий двух зарядов q_1 и q_2

$$F_{el} = \frac{q_1 q_2}{r^2} \tag{3.5.3}$$

был записан Ш. О. Кулоном по образу и подобию ньютонова закона всемирного тяготения (3.5.1). Позже история физики развивалась в обратном направлении: сначала теория поля была развита для электромагнитного взаимодействия и лишь затем была построена теория гравитационного поля (в разных вариантах).

Сразу же после создания специальной теории относительности А. Пуанкаре записал релятивистское обобщение уравнения (3.5.2) для скалярного поля, которое имеет вид (3.2.6). В дальнейшем анализ показал, что теория гравитации, описываемая одним скалярным потенциалом φ, противоречит наблюдаемым данным — дает неверные значения для угла отклонения лучей света, проходящих вблизи Солнца, и для смещения перигелия Меркурия.

Возникшая в 1913–1916 годах общая теория относительности адекватно описала названные эффекты, однако была построена на принципиально иных основах — в рамках геометрического видения мира. На протяжении почти всего XX века в физике имела место некоторая двойственность: гравитационное взаимодействие формулировалось в рамках геометрической парадигмы, тогда как электромагнитное и другие виды взаимодействий описывались в рамках физического миропонимания. Данное обстоятельство стало источником многих проблем в теоретической физике, главным образом, на пути объединения физических взаимодействий.

Объединение теорий всех взаимодействий возможно только при условии их единого основания. Имеются три пути реализации программы объединения гравитации с другими взаимодействиями: либо теорию гравитации переформулировать в традиционном духе теории поля (в физическом миропонимании), либо, наоборот, теории электрослабых и сильных взаимодействий представить в геометризованном виде (см. часть II), либо попытаться найти новую основу, от которой можно было бы перейти и к полевой, и к геометрической формулировкам (этот путь рассмотрен в третьей части). Некоторые физики-теоретики, воспитанные в русле традиционной теории поля (физического миропонимания), пошли по первому пути.

Таковым явилось создание А. А. Логуновым и его сотрудниками в начале 80-х годов XX века так называемой релятивистской теории гравитации (РТГ), базирующейся на следующих принципах:

«1. Пространство Минковского (псевдоевклидова геометрия пространства-времени) есть фундаментальное пространство, общее для всех физических полей, в том числе и для гравитационного. (...)

2. Гравитационное поле описывается симметричным тензором второго ранга $\Phi^{\mu\nu}$ и является реальным физическим полем, обладающим плотностью энергии-импульса, нулевой массой покоя, спиновыми состояниями 2 и 0. Это положение в корне отличает РТГ от ОТО. (...)
3. Принцип геометризации, суть которого заключается в том, что взаимодействие гравитационного поля с веществом, в силу его универсальности, осуществляется путем «подключения» гравитационного поля $\Phi^{\mu\nu}$ к метрическому тензору $\eta^{\mu\nu}$ пространства Минковского в плотности лагранжиана по правилу

$$\tilde{g}^{\mu\nu} \equiv \sqrt{-g}g^{\mu\nu} = \sqrt{-\eta}(\eta^{\mu\nu} + \Phi^{\mu\nu}). \tag{3.5.4}$$

   (...) Метрический тензор $\eta^{\mu\nu}$ пространства Минковского и тензор гравитационного поля $\Phi^{\mu\nu}$ в этом пространстве являются первичными понятиями, а риманово пространство и его метрика $g^{\mu\nu}$ — вторичными, обязанными своим происхождением гравитационному полю и его универсальному действию на вещество $\Phi_A(\ldots)$
4. Скалярная плотность лагранжиана гравитационного поля является квадратичной формой первых ковариантных производных $D_p\tilde{g}^{\mu\nu}$ по метрике Минковского. В ОТО в принципе нельзя построить скалярную плотность лагранжиана такого рода» [74, с. 10–13].

Таким образом, в этой теории налицо все три ключевые категории: пространство-время Минковского, тензорное поле второго ранга, описывающее гравитацию, и частицы в виде материальных источников Φ_A этого гравитационного поля. Основная задача, решенная автором этой теории, состояла в формулировке таких условий на плотность функции Лагранжа (на действие для гравитационно взаимодействующей системы) (пункт 4), чтобы в итоге получилась теория, приводящая к тем же эффектам, что и эйнштейновская ОТО.

В сообществе отечественных физиков-гравитационистов разгорелась дискуссия по поводу релятивистской теории гравитации Логунова, в ходе которой отмечались различные частные недостатки (скорее, недоработки) этой теории: возникновение двух световых конусов, неполнота используемых координатных карт и т. д. Однако, главный источник возражений состоял не в технических проблемах, — их несложно преодолеть, — а в призыве авторов заменить эйнштейновскую общую теорию относительности теорией Логунова, так как она «изменяет сложившиеся под влиянием ОТО представления о пространстве-времени, выводит нас из дебрей римановой геометрии и по духу соответствует современным теориям в физике элементарных частиц» [74, с. 13]. На этом основании

Логунов призывал отказаться от ОТО, отдав ей должное как определенному этапу в развитии наших представлений о гравитации» [74, с. 9].

Суть дискуссии по сути дела носила метафизический характер. РТГ Логунова была естественной в рамках триалистической парадигмы и, если строго следовать логике полевых представлений, теория гравитационного поля должна быть представлена именно таким образом. Однако данная концепция противоречила стратегической тенденции развития физики, выражающейся в стремлении перейти к меньшему числу категорий, и поэтому расценивалась как шаг назад — от двух категорий эйнштейновской теории гравитации к трем категориям триалистической парадигмы. РТГ Логунова, как нам представляется, не вызвала бы многих возражений, если бы трактовалась как исследование теории гравитации под иным углом зрения, а не как призыв отказаться от геометрического миропонимания, представленного в эйнштейновской ОТО.

Следует отметить, что в рамках физического миропонимания имеются и другие варианты теории гравитационного поля. В частности, в разд. 3.7 охарактеризован калибровочный подход к описанию гравитации, где в основания теории также положено пространство-время Минковского.

3.6. Фундаментальные физические взаимодействия

Если история представлений о гравитационном и электромагнитном взаимодействиях уходит вглубь столетий, то первые сведения о слабых и сильных взаимодействиях появились лишь после открытия радиоактивности на рубеже XIX и XX веков. На известной иллюстрации (см. рис. 3.3), приводимой во многих учебниках по общей и атомной физике, поясняющей открытие радиоактивного излучения, фактически показаны проявления трех фундаментальных физических взаимодействий: γ-излучение возникает в результате электромагнитного взаимодействия, β-излучение (электроны) обусловлено слабым взаимодействием, а α-излучение — сильным. Кратко охарактеризуем слабые (электрослабые) и сильные взаимодействия и связанные с ними поля.

Слабое взаимодействие на несколько порядков слабее электромагнитного и сильного взаимодействий, но значительно сильнее гравитационного. Оно имеет универсальный характер, т. е. слабым образом взаимодействуют все частицы, за исключением фотона (и гипотетического гравитона).

Первый процесс, обусловленный слабым взаимодействием, — радиоактивный β-распад ядер — был обнаружен А. А. Беккерелем в 1896 году.

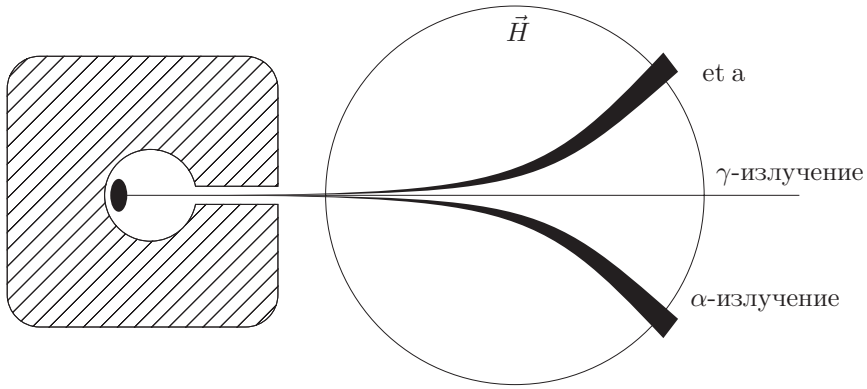

Рис. 3.3. Три вида лучей, испускаемых радиоактивными веществами

Однако факт наличия особого вида слабого взаимодействия был осознан значительно позднее. В первой половине 30-х годов Э. Ферми создал первый вариант теории слабых взаимодействий, который описывал процесс распада нейтрона на протон, электрон и электронное антинейтрино: $n \to p^+ + e^- + \tilde{\nu}_e$. В отличие от гравитационного и электромагнитного, слабое взаимодействие на значительных расстояниях не проявляется. Согласно модели Ферми, слабое взаимодействие представлялось четырехфермионным (все четыре частицы имеют спин $1/2$) и происходящим в одной точке (контактное взаимодействие).

Время жизни распадающихся слабым образом частиц колеблется от минут (время жизни нейтрона порядка 1000 секунд) до $10^{-10}c$ (время жизни гиперонов). Оно значительно по сравнению с характерным временем распада частиц в сильных взаимодействиях и является характерным признаком слабых взаимодействий.

Слабое взаимодействие играет ключевую роль в процессах энерговыделения Солнца и, следовательно, в обеспечении жизни на Земле. Благодаря слабым взаимодействиям на Солнце происходит реакция образования ядра дейтерия (d) из двух протонов ($p + p \to d + e^+ + \nu_e$). При этом один из протонов превращается в нейтрон с испусканием позитрона (e^+) и электронного нейтрино (ν_e). Если бы можно было «выключить» слабое взаимодействие, то погасли бы как наше Солнце, так и другие звезды.

Следующий важный шаг в развитии теории слабого взаимодействия был сделан в 1957–1958 годах независимо Р. Фейнманом и М. Гелл-Манном, с одной стороны, и Р. Маршаком и Э. Сударшаном — с другой. Ими была предложена теория, согласно которой слабое взаимодействие

описывается произведением двух токов взаимодействующих частиц (т. е. выражениями вида $\overline{j}_{(1)\alpha} j^{\alpha}_{(2)}$), каждый из которых является комбинацией векторной (V) и псевдовекторной (A) частей ($V-A$-взаимодействие). Этим работам предшествовало открытие нарушений зеркальной и других дискретных симметрий в слабых взаимодействиях.

Взаимодействие частиц через токи навело на мысль об аналогии с электромагнитным взаимодействием, где между токами имеется поле — переносчик взаимодействия. Это поставило под вопрос прежние представления Ферми о контактном характере слабых взаимодействий, которые должны переноситься векторными массивными частицами, поскольку слабые взаимодействия обладают очень малым радиусом действия, порядка 10^{-15} см. Так как радиус определяется комптоновской длиной волны промежуточных частиц ($\hbar/Mc$), то их масса была оценена величиной $Mc^2 \sim 100$ Гэв. Эти частицы (заряженные $W^{\pm}$-бозоны и нейтральный Z-бозон) были предсказаны в 1967–68 годах А. Саламом и С. Вайнбергом, и только в 80-х годах они были экспериментально обнаружены.

Теория слабых взаимодействий, сформировавшаяся на основе указанных гипотез и открытий, оказалась неразрывно связанной с теорией электромагнитных взаимодействий. Таким образом, во второй половине XX века было сделано открытие, сравнимое с объединением электрических и магнитных взаимодействий в теорию электромагнитных взаимодействий, — была построена теория электрослабых взаимодействий. Авторы этого открытия Ш. Глэшоу, С. Вайнберг и А. Салам, получившие за него в 1979 году Нобелевскую премию, могли бы также, вслед за Минковским, заявить: «Милостивые господа! Отныне электромагнитное взаимодействие само по себе и слабое взаимодействие само по себе должны обратиться в фикции и лишь некоторый вид соединения обоих должен сохранить самостоятельность». Но их высказывания были значительно скромнее. Так, С. Вайнберг писал: «В процессе работы я обнаружил, хотя в начале такой идеи у меня не было, что получена не только теория слабой силы, построенная по аналогии с электромагнетизмом, — оказалось, что это единая теория слабой и электромагнитной сил, которые она рассматривает как два совершенно разных аспекта того, что впоследствии было названо электрослабой силой» [16]. Точнее, этот вид соединения получил название *модель электрослабых взаимодействий Глэшоу—Вайнберга—Салама.*

Сильное взаимодействие ответственно за прочную связь нуклонов (протонов и нейтронов) в ядрах элементов (средняя энергия связи на один нуклон имеет порядок 8 Мэв). При столкновениях частиц высоких

энергий сильное взаимодействие приводит к различным превращениям элементарных частиц адронов (барионов и мезонов) — к ядерным реакциям. В частности, за счет сильного взаимодействия выделяется большая часть тепла внутри Солнца, когда возникшие в результате слабого взаимодействия ядра дейтерия образуют вместе с протонами ядра гелия. Сильное взаимодействие является короткодействующим с радиусом порядка 10^{-13} см, и распады частиц, обусловленные сильным взаимодействием, характеризуются очень малым временем 10^{-23}–$10^{-24} c$.

Важнейшими вехами в развитии теории сильного взаимодействия, наряду с обнаружением радиоактивности Беккерелем, стали открытие в 1911 году атомного ядра Э.Резерфордом и установление в 1932 году протонно-нейтронного строения ядра (Д. Д. Иваненко и В. Гейзенберг).

Важную роль в развитии представлений о сильном взаимодействии сыграла высказанная в 1935 году идея Х. Юкавы о том, что переносчиком ядерных сил являются некоторые промежуточные скалярные (бесспиновые) поля с ненулевой массой покоя M. Юкавский потенциал $e^{-Mer/\hbar}/r$ быстро убывает с расстоянием r между взаимодействующими частицами. Радиус действия сил определяется комптоновской длиной волны частицы $r_0 \sim \hbar/Mc$. После открытия в самом конце 40-х годов π-мезонов (триплета из одной нейтральной и двух заряженных частиц с массами $\sim$ 135–140 Мэв) стали считать, что юкавскими промежуточными полями (частицами) являются π-мезоны.

В 1964 году независимо М. Гелл-Манном и Г. Цвейгом была высказана гипотеза о кварковой[1] структуре адронов (сильно взаимодействующих частиц). Постепенно представления о кварках завоевали признание. К рубежу 70-х — 80-х годов были заложены основы теории сильных взаимодействий, названной хромодинамикой. Согласно этой теории, кварки могут быть трех цветовых зарядов, — отсюда и название теории — хромодинамика, а взаимодействия между кварками осуществляются посредством промежуточных векторных бозонов — глюонных полей восьми типов.

3.7. Симметрии и калибровочный подход к описанию взаимодействий

Одной из центральных задач физики XX века было объединение известных физических взаимодействий и соответствующих им полей. В попыт-

[1] Термин «кварк» позаимствован из романа ирландского писателя Дж. Джойса «Поминки по Финнегану» и означает нечто неопределенное, мистическое.

ках ее решения физики руководствовались отнюдь не метафизическими принципами, а внутренней логикой развития теории. Ощущалась острая необходимость выработки некоего общего принципа, позволяющего, если не объединить все поля, то хотя бы на первых этапах их единообразно описать. В качестве такового был предложен так называемый калибровочный (или групповой) способ введения полей переносчиков взаимодействий.

Возможно, историки физики назовут XX век, особенно его вторую половину, эпохой симметрий. Действительно, понятие симметрии физических систем, строго описываемое на языке теории групп, буквально пронизывает все содержание теоретической физики на рубеже XX и XXI веков.

Напомним, что законы сохранения основных динамических величин обычно вводятся в связи со свойствами симметрии пространства-времени Минковского. Так, закон сохранения энергии обусловлен свойством однородности времени, закон сохранения импульса обязан однородности пространства, закон сохранения момента импульса — свойству изотропности пространства (т. е. равноправия всех направлений в пространстве). Все это справедливо как в классической, так и в квантовой механике, причем понятие симметрии имеет в квантовой механике и в теории элементарных частиц еще большее значение, чем в классической механике. Именно требования симметрии играют ключевую роль при написании действия или плотности лагранжиана физической системы, взаимодействующей тем или иным образом.

Если в механике рассматривается система свободных частиц (не взаимодействующих друг с другом и с окружающими объектами), то для этой системы выполняются законы сохранения механической энергии, импульса, момента импульса. Учет (введение) взаимодействия частиц с окружающими телами в общем случае нарушает законы сохранения их динамических характеристик, что можно понимать как нарушение соответствующих симметрий. Для частиц оказываются неэквивалентными положения в пространстве или некоторые направления. Но законы сохранения и симметрии можно восстановить, если ввести потенциальную энергию частиц, то есть поля, через которые осуществляются их взаимодействия с окружающими телами, и далее рассматривать полную систему из совокупности частиц (тел) и полей.

Данный простой прием и лежит в основе принятого в рамках физического видения мира калибровочного подхода к описанию фундаментальных физических взаимодействий. Своеобразие состоит в том, что в дополнение к известным симметриям плоского 4-мерного пространства-

времени вводятся так называемые *внутренние симметрии* элементарных частиц. Этим симметриям соответствуют новые сохраняющиеся величины и новые поля, позволяющие говорить о законах сохранения для суммарных систем из частиц и этих полей.

Калибровочный подход опирается на два ключевых положения: во-первых, на убеждение, что в основу физики должны быть положены симметрии, точнее, симметрии, описываемые группами Ли, и, во-вторых, на идею о локализации (зависимости от координат) параметров групп. Поля переносчиков взаимодействий предлагается вводить как факторы, позволяющие компенсировать нарушение соответствующих симметрий фермионных полей (частиц) при локализации групп.

Продемонстрируем, как эти соображения реализуются при описании **электромагнитных взаимодействий**. Как известно, в квантовой теории поля наблюдаемые величины — вероятность обнаружения частиц, значения импульса, момента импульса и т. д. — строятся из квадратичных комбинаций вида

$$\overset{*}{\psi}\, D\psi, \tag{3.7.1}$$

где ψ — комплексная волновая функция, D — соответствующий оператор наблюдаемой величины. Для всех таких квадратичных комбинаций имеет место симметрия относительно преобразований волновой функции

$$\psi \to \psi' = \psi e^{i\alpha e/(\hbar c)}; \quad \overset{*}{\psi} \to \overset{*}{\psi'} = \overset{*}{\psi}\, e^{-i\alpha e/(\hbar c)}, \tag{3.7.2}$$

где e — следует понимать как электрический заряд частицы, комбинация констант $\hbar c$ введена в соответствии с принятой традицией. Очевидно, что в квадратичных алгебраических комбинациях вида (3.7.1) экспоненты сокращаются. Поскольку можно определить результат двух таких преобразованиях, ввести единичное и обратное преобразования, то можно утверждать, что эти преобразования образуют группу, характеризуемую одним параметром α. Эта группа является циклической группой или группой $U(1)$. При постоянных α имеет место *глобальная* $U(1)$-симметрия.

Появление взаимодействия в данном подходе ассоциируется с нарушением глобальной групповой симметрии. Применяется прием, называемый *локализацией группы*, состоящий в том, что параметр α полагается зависящим от координат 4-мерного пространства-времени. Это оказывается принципиально важным, если оператор D в (3.7.1) содержит в себе дифференцирование по координатам.

Поясним это на примере оператора импульса, когда $D \sim \partial/\partial x^\mu$. Тогда при преобразованиях (3.7.2) имеем

$$\psi^* \frac{\partial \psi}{\partial x^\mu} \underset{*}{\to} \psi' \frac{\partial \psi'}{\partial x^\mu} \underset{*}{=} \psi \frac{\partial \psi}{\partial x^\mu} + \frac{ie}{\hbar c} \frac{\partial \alpha}{\partial x^\mu} \underset{*}{\psi} \psi, \tag{3.7.3}$$

где дополнительное слагаемое возникло из дифференцирования экспоненты и нарушает инвариантность (3.7.3) относительно преобразования (3.7.2).

Для восстановления инвариантности предлагается, во-первых, изменить оператор дифференцирования следующим образом (сравните с (3.2.11))

$$\frac{\partial}{\partial x^\mu} \to \partial^+_\mu \frac{\partial}{\partial x^\mu} - \frac{ie}{\hbar c} A_\mu, \tag{3.7.4}$$

и, во-вторых, постулировать, что при преобразованиях (3.7.2) введенное здесь векторное поле A_μ изменяется по закону

$$A_\mu \to A'_\mu = A_\mu + \frac{\partial \alpha}{\partial x^\mu}. \tag{3.7.5}$$

Очевидно, что комбинация (3.7.1) с оператором D вида (3.7.4) остается инвариантной относительно преобразований (3.7.2). В этой комбинации «лишнее» слагаемое в (3.7.3) компенсируется дополнительным членом в (3.7.4). На этом основании в 60-х годах, когда данный подход входил в моду, Д. Д. Иваненко предлагал его назвать «компенсирующим».

Именно так сейчас принято вводить электромагнитное взаимодействие в калибровочной формулировке электродинамики. Выражение (3.7.5) является в стандартной электродинамике давно известным калибровочным преобразованием векторного потенциала. Очевидно, что при таких преобразованиях не изменяются компоненты тензора электромагнитного поля (3.2.4) и сохраняющейся величиной, соответствующей $U(1)$-симметрии, является электрический заряд системы.

В середине 50-х годов Янг и Миллс предложили распространить данный прием на случаи других групп. Выяснилось, что он имеет универсальный характер и применим практически к любой из известных групп Ли. Каждой из них соответствует закон сохранения некоторого заряда и присущая ей совокупность возможных полей переносчиков взаимодействий. Сейчас принято называть такие поля *полями Янга-Миллса*. Но это, конечно, не означает, что все они реализуются в физике элементарных частиц. Кроме рассмотренной группы $U(1)$, в физике микромира оказались нужными группы $SU(2)$ и $SU(3)$: первая для описания электрослабых взаимодействий, а вторая — для построения хромодинамики.

В связи со стремлением объединить все известные виды взаимодействий, включая гравитационное, предпринимались усилия (в качестве

предварительного шага) поставить теорию гравитации на ту же принципиальную основу, что и другие взаимодействия, т. е. также представить в калибровочном виде. Работы по развитию *калибровочной теории гравитации* были начаты уже в 60-х годах. Для этой цели была использована группа симметрий пространства-времени Минковского. Одни авторы ограничились 6-параметрической группой Лоренца, другие выбрали более широкую 10-параметрическую группу Пуанкаре (группа Лоренца плюс 4-параметрическая группа сдвигов). Далее ход рассуждений был принципиально тот же, что и в рассмотренном выше случае. Производилась локализация группы, т. е. полагалось, что параметры C^{μ}_{ν} группы Лоренца в (2.3.4) зависят от координат, затем вводились дополнительные (калибровочные) поля для компенсации возникающих отклонений от симметрий, которые трактовались как компоненты гравитационного поля.

При реализации этой программы возникало много специфических проблем технического характера, главным образом, связанных с отождествлением калибровочных полей с геометрическими понятиями общей теории относительности. В результате была продемонстрирована возможность построения калибровочной версии теории гравитации, позволяющей взглянуть на нее, как на следствие нарушений симметрий пространства-времени Минковского.

Физик-гравитационист Н. В. Мицкевич так охарактеризовал суть этого направления исследований:

Изменяя очень ловко
И локально калибровку,
Мы получим электро-
маг-
не-
тизм.

Та же компенсация
Даст нам гравитацию,
Если также Лоренца
ис-
ка-.
зим.

На наш взгляд, калибровочный подход к теории гравитации не привел к каким-либо существенным результатам. Деятельность в этой области стимулировалась лишь неоправдавшимися надеждами на последующее объединение гравитации с другими видами взаимодействий.

3.8. Бозонные поля в модели электрослабых взаимодействий

Одним из наиболее существенных достижений в рамках калибровочного подхода явилось построение модели электрослабых взаимодействий на

основе локализации группы $SU(2) \times U(1)$. Кратко поясним ее основные положения. Согласно изложенному выше, использование $SU(2) \times U(1)$-симметрии означает введение в теорию четырех — по числу параметров этих групп — векторных полей: три векторных поля $A(1)_\alpha$, $A(2)_\alpha$, $A(3)_\alpha$ соответствуют 3-параметрической группе $SU(2)$ и одно векторное поле B_α — 1-параметрической группе $U(1)$. Подчеркнем, что совокупность двух групп и полей не означает прямого соответствия $U(1)$ электромагнитному полю, а $SU(2)$ — переносчикам слабых взаимодействий, как могло бы показаться на первый взгляд. Фотоны и другие векторные поля определяются через названные первичные поля более сложным образом: через некоторые комбинации из них.

Взаимодействие частиц с векторным полем B_α характеризуется своей константой взаимодействия g_1 и специальным зарядом Y, называемым *гиперзарядом*, который может принимать целочисленные значения: $0, \pm 1, \pm 2, \ldots$ аналогично электрическому заряду Q в единицах заряда электрона e.

Взаимодействие с триплетом векторных полей $A(k)_\alpha$, где k= 1, 2, 3, характеризуется другой константой взаимодействия g_2 и своими значениями заряда, роль которых выполняет проекция спина T_3 во внутреннем изотопическом пространстве; T_3 может принимать как целые, так и полуцелые значения: $0, \pm 1/2, \pm 1, \ldots$ В зависимости от значения T, говорят, что частицы являются изоскаляром ($T = 0$), изоспинором ($T = 1/2$), вектором ($T = 1$) в изотопическом пространстве.

Плотность лагранжиана модели Вайнберга-Салама-Глэшоу представляется в виде не трех, как в (3.1.5), а четырех составных частей:

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_0 + \mathcal{L}_F + \mathcal{L}_{int} + \mathcal{L}_m, \tag{3.8.1}$$

где первые три слагаемые имеют прежний смысл, а $\mathcal{L}_m$ — часть плотности лагранжиана, описывающая вклады в массы частиц (массовый сектор). Дело в том, что в $SU(2) \times U(1)$-симметричной теории как частицы, так и поля переносчиков взаимодействий оказываются безмассовыми. Для того чтобы возникли отличные от нуля массы покоя, используется специальный математический прием, предложенный Хиггсом в 1964 году. Он основан на введении дублета хиггсовских скалярных полей, взаимодействующих с векторными и спинорными полями, причем так, чтобы сохранялась $SU(2) \times U(1)$-симметрия. Затем на скалярное поле налагаются специальные условия таким образом, чтобы более выгодным было некое ненулевое значение (вакуумное среднее) скалярного поля, что соответствует нарушению изначальной $SU(2) \times U(1)$-симметрии. Ненулевое значение скалярного поля ответственно за возникновение масс покоя

элементарных частиц. Такое явление названо спонтанным нарушением симметрии, а сам прием введения масс — эффектом, или *механизмом Хиггса*. Таким образом, в $\mathcal{L}_m$ входит плотность лагранжиана хиггсовских скалярных полей и члены, описывающие их взаимодействие с другими полями.

Все эти составные части тесно связаны друг с другом. Не углубляясь в детали этой теории, выпишем лишь наиболее характерные ее следствия. Так, взаимодействие лептонов с векторными калибровочными полями определяется следующей «удлиненной производной»:

$$\partial_\mu^{++} = I_2 \frac{\partial}{\partial x^\mu} - \frac{ig_1}{\hbar c}\frac{Y}{2} I_2 B_\mu - \frac{ig_2}{\hbar c} T(k) A(k)_\mu, \tag{3.8.2}$$

обобщающей электромагнитную «удлиненную производную» (3.2.8). Здесь Y — гиперзаряд, $T(s)$ — матричная величина, выражаемая через матрицы Паули (см. разд. 4.5), I_2 — единичные 2×2-матрицы.

Физическим полям — электромагнитному и другим — соответствуют комбинации из первичных векторных полей, которые определяются, в частности, тем, какие комбинации из них взаимодействуют со скалярными полями и, следовательно, приобретают в результате массы покоя, а какие — нет. Оказывается, линейная комбинация

$$A_\alpha = B_\alpha \cos\theta_W + A(3)_\alpha \sin\theta_W \tag{3.8.3}$$

не взаимодействует со скалярными полями и остается безмассовой. Она отождествляется с векторным потенциалом электромагнитного поля. Здесь θ_W — так называемый *угол Вайнберга*, определяемый константами взаимодействий g_1 и g_2:

$$\sin\theta_W = \frac{g_1}{\sqrt{g_1^2 + g_2^2}} \equiv \frac{g_1}{g}. \tag{3.8.4}$$

Следует особо подчеркнуть, что значения констант, а следовательно, и угол Вайнберга θ_W в модели Вайнберга—Салама—Глэшоу не фиксируются. Угол Вайнберга находится из экспериментальных данных $\theta_W \sim 28,4^o$.

Вторая комбинации из двух первичных полей, ортогональная первой в (3.6.3),

$$Z_\alpha = -B_\alpha \sin\theta_W + A(3)_\alpha \cos\theta_W \tag{3.8.5}$$

определяет поле нейтрального векторного Z-бозона, обладающего массой покоя.

Поскольку промежуточные векторные поля A_α и Z_α являются составными, то и константы их взаимодействий с частицами определяются

через комбинации первичных констант g_1 и g_2. Так, величина электрического заряда e и константа g взаимодействия с Z-бозоном соответственно записываются в виде

$$e = \frac{g_1 g_2}{\sqrt{g_1^2 + g_2^2}}; \qquad g = \sqrt{g_1^2 + g_2^2}. \tag{3.8.6}$$

Из оставшихся двух первичных векторных полей $A(1)_\alpha$ и $A(2)_\alpha$ строятся поля двух заряженных векторных бозонов (положительного и отрицательного зарядов):

$$W_\alpha^{\pm} = \frac{1}{\sqrt{2}}[A(1)_\alpha \mp iA(2)_\alpha], \tag{3.8.7}$$

также обладающих массами покоя.

В рамках этой теории были предсказаны значения масс Z- и $W^{\pm}$-бозонов. Оказалось, что отношение масс Z- и W- бозонов определяется косинусом угла Вайнберга, что затем было подтверждено экспериментально.

Все таким образом понимаемые векторные бозонные поля являются переносчиками взаимодействий между парой фермионных частиц. В классической модели Вайнберга—Салама—Глэшоу обычно подразумевается пара стабильных частиц (первого поколения): электрон (e) и электронное нейтрино (ν_e). Для масс фермионов предсказания теории оказались менее определенными. Из теории следовала лишь сама возможность их введения через механизм Хиггса, однако конкретные значения задаются с помощью дополнительных констант, которые теорией не фиксируются, а находятся из эксперимента.

3.9. Глюонные поля в хромодинамике

Теория сильных взаимодействий конца XX века, именуемая *хромодинамикой*, опирается на следующие положения:

1. Хромодинамика строится в рамках заранее заданного классического (координатного) пространства-времени, что означает использование всех сопутствующих этому понятий, таких как координаты, частные производные и т. д.
2. Теория сильных взаимодействий основана на принципах калибровочного подхода. Используется группа внутренних симметрий $SU(3)$; сильные взаимодействия вводятся посредством локализации этой группы.

3. Поскольку группа $SU(3)$ является 8-параметрической, то при локализации этой группы возникают 8 векторных полей V_μ^a, которые именуются *глюонами*; здесь индекс a принимает значения: 1, 2, ..., 8. Полагается, что сильные взаимодействия переносятся глюонами.

Наименование теории — «хромодинамика» — обусловлено тремя квантовыми состояниям кварков, названными цветовыми терминами. Говорят, что кварки обладают *тремя цветами* (цветовыми зарядами), т. е. образуют цветовой триплет

$$q_{(j)} = \begin{pmatrix} q_{(1)} \\ q_{(2)} \\ q_{(3)} \end{pmatrix} \equiv \begin{pmatrix} q_R \\ q_Y \\ q_G \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} \text{красный} \\ \text{желтый} \\ \text{зеленый} \end{pmatrix}. \tag{3.9.1}$$

Лагранжиан хромодинамики в каноническом виде записывается таким же образом, что и для электромагнитных и электрослабых взаимодействий, с той разницей, что в нем присутствуют другие поля и иной вид «удлиненной производной»:

$$\begin{aligned} \partial_\mu^\star &= I_3\partial_\mu + i\frac{g_o}{2\hbar c}\lambda_a V_\mu^a = \\ &= I_3\frac{\partial}{\partial x^\mu} + I_3\frac{ig_o}{\hbar c}Q_a\mathcal{A}_\mu + I_3\frac{ig_o}{\hbar c}Q_b\mathcal{B}_\mu + \frac{ig_o}{2\hbar c}\lambda_n V_\mu^n, \end{aligned} \tag{3.9.2}$$

где g_o — калибровочная константа связи по группе $SU(3)$ (заряд сильных взаимодействий). Это выражение записано через 3×3-матрицы, так что на самом деле здесь три выражения по числу цветовых зарядов кварков; в частности, I_3 — единичная 3×3-матрица, λ_a — 8 матриц Гелл-Манна, которые выписаны в следующей главе.

Две из матриц Гелл-Манна — с индексами 3 и 8 — имеют диагональный вид. Для соответствующих им двух калибровочных полей, называемых нейтральными (в смысле цветовых зарядов), введены специальные обозначения:

$$V_\mu^3 \equiv \mathcal{A}_\mu; \quad V_\mu^8 \equiv \mathcal{B}_\mu. \tag{3.9.3}$$

Роль этих двух компонент — нейтральных глюонов — аналогична роли двух электрически нейтральных промежуточных векторных бозонов $A(3)_\mu$ и B_μ (или комбинаций из них: фотонов и Z-бозонов) в калибровочной модели электрослабых взаимодействий Вайнберга—Салама—Глэшоу.

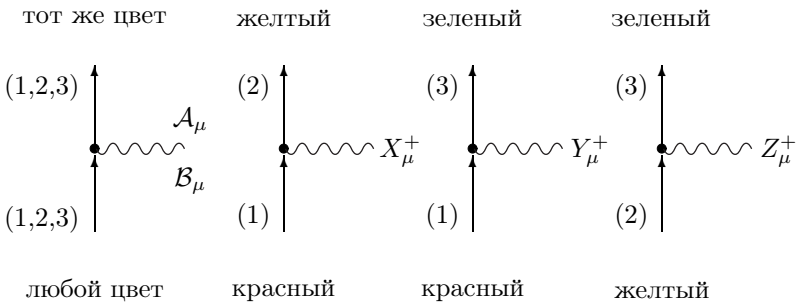

Рис. 3.4. Кварк-глюонные взаимодействия

Для оставшихся 6 векторных глюонных полей, называемых заряженными (в цветовом смысле), обычно вводятся следующие парные комбинации:

$$X_\mu^+ = \frac{1}{\sqrt{2}}(V_\mu^1 + iV_\mu^2); \quad X_\mu^- = \frac{1}{\sqrt{2}}(V_\mu^1 - iV_\mu^2);$$

$$Y_\mu^+ = \frac{1}{\sqrt{2}}(V_\mu^4 + iV_\mu^5); \quad Y_\mu^- = \frac{1}{\sqrt{2}}(V_\mu^4 - iV_\mu^5); \tag{3.9.4}$$

$$Z_\mu^+ = \frac{1}{\sqrt{2}}(V_\mu^6 + iV_\mu^7); \quad Z_\mu^- = \frac{1}{\sqrt{2}}(V_\mu^6 - iV_\mu^7),$$

аналогичные выражению (3.6.8) для заряженных (уже в электромагнитном смысле) $W_\mu^\pm$-бозонов в модели электрослабых взаимодействий.

Таким образом определенные нейтральные и заряженные глюонные поля имеют простую физическую интерпретацию: они изменяют цветовые заряды соответствующих кварков, т. е. генерируют переходы кварков между состояниями, поясненными на вершинных диаграммах рисунка 3.4.

3.10. Метафизика бозонных полей в физическом миропонимании

Следует напомнить, что категория полей переносчиков взаимодействий имеет самостоятельный характер лишь в триалистической парадигме и в одной из парадигм реляционного миропонимания. Во всех других парадигмах она входит в состав некой обобщенной категории. В связи с этим обратим внимание на следующие моменты:

1. *Калибровочный подход* к описанию взаимодействий и соответствующий ему способ введения бозонных полей, по определению, *присущ*

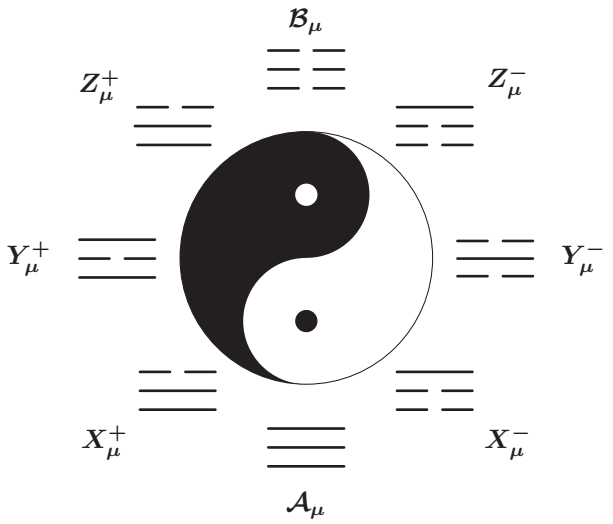

Рис. 3.5. Соответствие восьми глюонов китайской системе триграмм

именно дуалистической парадигме физического миропонимания. Удлиненные производные, в которых присутствуют бозонные поля, вводятся для фермионных волновых функций, описывающих частицы. Кроме того, понятие симметрии относительно соответствующих групп имеет место именно для совокупности из фермионных и бозонных полей.

2. При построении калибровочных моделей физических взаимодействий *использованы далеко не все известные группы Ли.* Возникают естественные вопросы: почему для построения модели электрослабых взаимодействий оказались необходимыми именно группы $SU(2)$ и $U(1)$ и в таком сочетании и почему для описания хромодинамики потребовалась именно группа $SU(3)$? В рамках существующей теории не найдено ответа на эти вопросы.

3. Вскрытые закономерности в калибровочной теории сильных взаимодействий (в хромодинамике) и затем повторяющиеся в геометрическом и реляционном миропониманиях позволяют полагать, что *за выделенными группами преобразований кроятся проявления метафизической двоичности и троичности.*

В частности, выбор группы $SU(3)$ в хромодинамике обусловлен тремя цветовыми зарядами кварков, составляющих сильно взаимодействующие элементарные частицы. Восемь глюонных полей, переносящих взаимодействия между кварками трех цветовых зарядов, можно сопоставить с восьмеркой древних китайских триграмм (см. рис. 3.5). При этом

три пары (хроматически) заряженных глюонов $X_\mu^\pm$, $Y_\mu^\pm$ и $Z_\mu^\pm$ соответствуют трем парам смешанных триграмм, содержащих как сплошные, так и прерывистые отрезки, тогда как два нейтральных глюона $\mathcal{A}_\mu$ и $\mathcal{B}_\mu$ должны быть сопоставлены с двумя триграммами, содержащими одинаковые отрезки.

Любопытно отметить, что в модели электрослабых взаимодействий Вайнберга—Салама—Глэшоу также можно усмотреть проявления двоичности и троичности. В частности, двоичность — в самом факте композиции двух групп $SU(2)$ и $U(1)$, а троичность проявляется в том, что группа $SU(2)$ соответствует вращениям в трехмерном пространстве.

Исходя из этого, можно полагать, что *калибровочный подход представляет собой проявление метафизики в своеобразной групповой форме, соответствующей дуалистической парадигме физического миропонимания.*

4. Чрезвычайно важная роль групп симметрий в калибровочном подходе побудила некоторых видных физиков к заявлениям метафизического характера о *замене категорий полей переносчиков взаимодействий и частиц понятиями соответствующих групп симметрий*, т. е. фактически некой новой обобщенной категорией. Так, В. Гейзенберг писал: «Существующие экспериментальные доказательства довольно основательно свидетельствуют в пользу идеи, что можно говорить о фундаментальных симметриях. Закон природы, лежащий в основе спектра частиц, их взаимодействий, строения и истории космоса, определяется, вероятно, некоторыми фундаментальными симметриями, например, инвариантностью при преобразованиях Лоренца, вращениях в изопространстве, изменениях масштаба и т. д. Поэтому можно сказать, что современное развитие физики повернулось от философии Демокрита к философии Платона. В самом деле, именно в соответствии с убеждениями Платона, если мы будем разделять материю все дальше и дальше, мы в конечном счете придем не к мельчайшим частицам, а к математическим объектам, определяемым с помощью их симметрии, платоновским телам и лежащим в их основе треугольникам. Частицы же в современной физике представляют собой математические абстракции фундаментальных симметрий» [34, с. 88].

Как нам представляется, подобные высказывания следует понимать в духе стремления к *монистической парадигме*, где категории пространства-времени, частиц и полей переносчиков взаимодействий сливаются в единое целое и *симметрии рассматриваются не сами по себе, а как свойства искомой Первоосновы*, которую имел в виду Платон.

5. Наконец, следует затронуть еще один аспект калибровочного подхода к описанию взаимодействия, тесно связанный с иной дуалистической парадигмой — в рамках *геометрического миропонимания*. Имеются в виду понятия «внутренних пространств», вводимые в качестве формальных вспомогательных понятий калибровочных теорий. Возникает вопрос о возможной их связи с категорией классического пространства-времени. Как будет показано во второй части книги при рассмотрении геометрического миропонимания, «внутренние» и «внешнее» пространства можно объединить в рамках многомерного пространства-времени в теории Калуцы—Клейна.

Глава 4

Категория частиц

До XX века правильнее было бы говорить о категории вещества, нежели о категории частиц, поскольку частицы понимались как компактные сгустки вещества в пространстве и времени. В предыдущие столетия и даже в самом начале XX века были сильны позиции естествоиспытателей, отрицавших существование атомов, а следовательно, и возможность рассмотрения частиц как физической категории. Признание их реальности произошло именно в XX веке. До этого понятие частиц могло претендовать лишь на статус метафизической категории в триалистической парадигме.

Превращение частиц из метафизической категории также и в физическую привело к созданию квантовой теории и обусловило переход к новой, дуалистической парадигме физического миропонимания, которая опирается на категорию пространства-времени и на обобщенную категорию поля, вобравшую в себя прежние метафизические категории частиц и полей переносчиков взаимодействий.

Возвращаясь к введенному ранее образу куба, дуалистическую парадигму физического миропонимания можно представить как взгляд на мир со стороны нижней грани куба, определяемой двумя ортами (ребрами), соответствующими категориям частиц и полей переносчиков взаимодействий (см. рис. 4.1). На рисунке эта грань заштрихована. Ребро пространства-времени ортогонально выделенной грани.

В дуалистической парадигме физического миропонимания частицы описываются особыми фермионными полями, число компонент которых определяется вероятностным характером теории. В представлениях о новой обобщенной категории поля имеет место своя дуалистическая фрактальность, проявляющаяся в виде корпускулярно-волнового дуализма, возникает понятие спинора и ряд других необычных свойств.

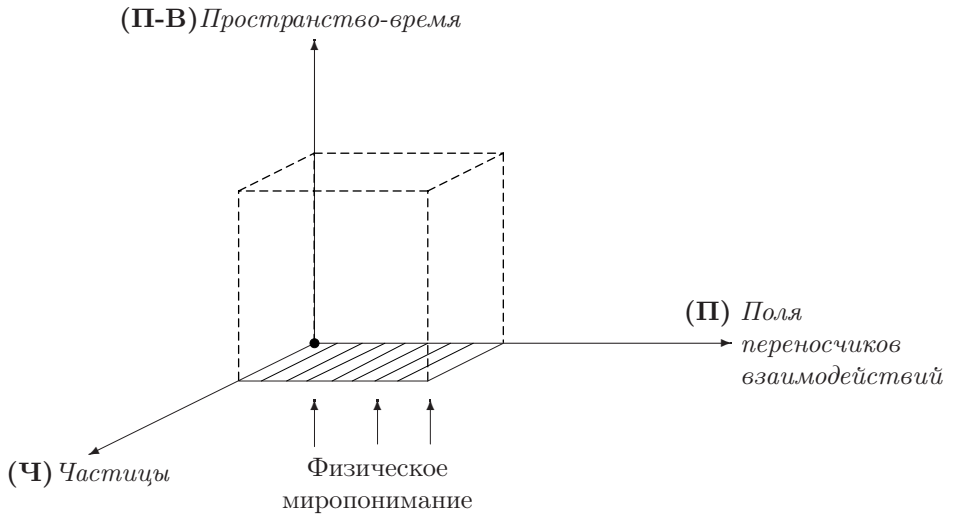

Рис. 4.1. Физическое видение куба физического мироздания

С позиций метафизики, в представлениях о частицах (фермионных полях) конца XX века содержится материал, выходящий за пределы теории дуалистической парадигмы физического видения мира, который до самого последнего времени было принято описывать в ее понятиях. Здесь имеются в виду сведения из физики элементарных частиц, теории электрослабых и сильных взаимодействий, рассмотренные в конце данной главы.

4.1. Концепция атомизма

Идея о пределе делимости вещества и о существовании атомов, как мельчайших неделимых частиц, возникла еще в античности. Обычно эту идею связывают с именем Демокрита, поставившего вопрос о том, сколько раз нужно делить яблоко и его части пополам, чтобы достичь предела в виде отдельного атома. В те времена эта проблема имела сугубо метафизический, не основывавшийся на экспериментальных фактах характер. Древняя идея получила твердое опытное подтверждение лишь в XX веке, причем выявилось несколько уровней дискретных состояний вещества (частиц), составляющих иерархию мельчайших «кирпичиков мироздания»:

1) Молекулы $\rightarrow l \sim 10^{-8}$ см.
$\Downarrow$
2) Атомы $\rightarrow l \sim 10^{-8}$ см.
$\Downarrow$

3) Атомные ядра $\rightarrow l \sim 10^{-13}$ см.
$\Downarrow$
4) Нуклоны $\rightarrow l \sim 10^{-13}$ см.
$\Downarrow$
5) Кварки, лептоны $\rightarrow l \sim 10^{-16}$ см.
$\Downarrow$
6) ? (пракварки ?)

Здесь справа указаны размеры соответствующих «кирпичиков мироздания».

Поясним каждое из названных звеньев.

1. Представления об **атомно-молекулярной структуре вещества** в физике нового времени формировались в связи с учением о природе теплоты. Здесь еще со времен античности конкурировали два подхода: субстанциальный, согласно которому теплота — это особый род вещества, и кинетический, основанный на трактовке тепла как движения молекул вещества. Последний, т. е. представление о молекулярной структуре вещества, был доминирующим в XVII и в первой половине XVIII века. Его придерживались М. В. Ломоносов и Л. Эйлер, но во второй половине XVIII века верх одержал субстанциальный подход.

В XIX веке было сделано множество открытий, свидетельствовавших о молекулярной структуре вещества. Здесь следует назвать работы А. Авогадро, Р. Клаузиуса, Дж. Максвелла, Л. Больцмана и многих других, тем не менее на рубеже XIX и XX веков по-прежнему доминировал субстанциальный подход, сторонниками которого являлись такие известные естествоиспытатели (метафизики), как Э. Мах и В. Оствальд.

Напомним некоторые драматичные и даже трагические моменты из истории физики того времени. Так, Л. Больцман, отчаявшись убедить коллег в своей правоте, писал тогда в своих «Принципах механики»: «Я являюсь последним, кто думает отрицать возможность построения иной, нежели атомистической картины природы» [10, с. 243]. За это его взгляды были объявлены антинаучными, а самого Больцмана называли ученым «старой школы». В одном из немецких журналов писалось по поводу вышедших в 1898 году его «Лекций по теории газов»: «Теория кинетическая, как известно, так же ошибочна, как и разные механические теории гравитации; в частности, она ошибочно понимает принцип сохранения энергии; если, однако, кто-либо захочет с ней познакомиться, пусть возьмет в руки книгу Больцмана» [10, с. 244]. Неприятие позиции ученого послужило одной из причин растройства его нервной системы, а затем и трагической гибели в 1906 году.

2. Современным представлениям об **атомах**, составляющих молекулы, предшествовало множество работ, косвенно свидетельствовавших

об их существовании. Здесь, прежде всего, следует назвать открытие в 1868 году Д. И. Менделеевым периодической таблицы элементов, вызвавшее оживленную дискуссию. К концу XIX века плодотворность таблицы Менделеева была признана почти всеми химиками, однако она воспринималась лишь как опытный факт, которому не было найдено достаточно хорошего теоретического объяснения. Величие этого открытия было осознано лишь спустя более 40 лет, после известных экспериментов Э. Резерфорда.

3. Исследования радиоактивности и опыты Э. Резерфорда не только позволили доказать существование атомов, о которых говорил еще Демокрит, но и заставили сделать следующий шаг вглубь дискретной структуры вещества. В 1911 году Резерфордом была предложена модель атома, согласно которой в центре атома находится положительно заряженное плотное **ядро**, окруженное рыхлой электронной оболочкой. В работах Г. Мозли и других авторов было показано, что место элементов в таблице Менделеева определяется числом элементарных зарядов ядра, а затем Н.Бором на основе его первого варианта квантовой механики была обоснована периодичность таблицы.

Электроны, составляющие атомные оболочки, были открыты значительно раньше, во второй половине XIX века.

4. В состав атомных ядер входят положительно заряженные протоны — ядра легчайшего элемента — водорода. Они и ранее наблюдались в экспериментах с электрическими разрядами в газах. В 1932 году Ч. Дж. Чэдвик открыл нейтрон, и сразу же в этом году Д. Д. Иваненко и чуть позже В. Гейзенберг высказали идею о **протонно-нейтронной структуре атомных ядер**. В нашу задачу не входит подробное изложение истории открытий в области физики элементарных частиц, поэтому мы ограничимся лишь краткой справкой.

В настоящее время известно множество адронов — частиц, участвующих в сильных взаимодействиях, которые разделяются на *барионы* — тяжелые частицы: протоны, нейтроны, множество гиперонов и резонансов, и *мезоны* — частицы, занимающие промежуточное положение между лептонами (в частности, электронами) и барионами. Для этих частиц и лептонов были экспериментально обнаружены двойники — античастицы, отличающиеся от них электрическим и другими зарядами.

Во второй половине XX века сложилась ситуация, напоминающая историю с периодической таблицей элементов Менделеева, — было открыто большое количество элементарных частиц, для которых предлагались различные виды классификации, но не было построено достаточно обоснованной теории. Накопленные сведения имеют феноменологический характер.

5. В 1964 году была высказана гипотеза о кварковой структуре адронов, послужившая основой для теории сильных взаимодействий конца XX века — хромодинамики.

Согласно устоявшимся представлениям все вещество слагается из **лептонов и кварков**, участвующих в электрослабых взаимодействиях. Как лептоны, так и кварки составляют *три поколения частиц*, каждое из которых образовано парой частиц, — принято о них говорить как о шести «ароматах» частиц. Так, лептоны первого поколения составляют пару: электрон и электронное нейтрино. Аналогично, первое поколение кварков, из которых построены протоны и нейтроны, образовано верхним кварком u и нижним кварком d. В отличие от лептонов, кварки обладают дробными электрическими зарядами, соответственно $+2/3$ и $-1/3$.

Кварки, кроме того, участвуют в сильных взаимодействиях. Следует особо подчеркнуть, что согласно хромодинамике в сильных взаимодействиях теряют силу многие понятия модели электрослабых взаимодействий, такие как электрический заряд, верхние и нижние кварки, поколения кварков и другие. Вместо них выступают цветовые и специальные нейтральные заряды.

Кварки обладают свойством *асимптотической свободы* на малых расстояниях и *конфайнмента* на больших, т. е. в свободном состоянии они не наблюдаемы. Все физически наблюдаемые частицы (например, барионы и мезоны) представляют собой так называемые «бесцветные» комбинации из кварков.

4.2. Метафизика категории частиц

При рассмотрении категории частиц, как и категорий пространства-времени и полей переносчиков взаимодействий, следует различать редукционистские подходы по сущности, по качеству и по количеству.

4.2.1. Редукционизм по количеству

В данном виде редукционистского подхода, который справедливее было бы отнести не к категории частиц, а к категории материи, выделяются три позиции:

1. *Материя непрерывна и делима до бесконечности.* Эта позиция доминировала в классической физике.

2. *Материя дискретна.* Эта позиция соответствует концепции атомизма, рассмотренной в предыдущем параграфе. Именно в ее рамках правомерно говорить о категории частиц.

Имеются три точки зрения по вопросу существования наиболее элементарных «кирпичиков мироздания».

а) Согласно первой из них, *отсутствует предел делимости* материи, то есть можно говорить лишь о шагах по бесконечно длинной лестнице открытий все более и более элементарных частиц. В приведенной выше цепочке обозначено следующее после кварков звено, для которого даже предлагаются названия: пракварки, преоны и другие. В настоящее время обсуждается возможность обнаружения таких частиц. Ожидается, что процесс открытия более элементарных частиц будет продолжаться и дальше.

На каждом новом этапе перехода к более элементарным частицам приходилось сталкиваться со спектром этих частиц, и всякий раз вплоть до настоящего времени возникал естественный вопрос о едином принципе, позволяющем объяснить спектр частиц достигнутого уровня элементарности. Подобные проблемы следует ожидать и в будущем.

б) Вторая точка зрения основана на убежденности в *существовании предела делимости* материи, т. е. возможности найти самые простые составные части вещества — элементарные частицы в подлинном смысле этого термина.

По мнению ряда исследователей, предел атомизма в виде системы лептонов и кварков уже достигнут к концу XX века. В. Гейзенберг, кстати, отрицательно относившийся к идее кварков, следующим образом понимал предел элементарности частиц: «Можно привести соображение, касающееся вопроса, часто задаваемого дилетантами относительно понятия элементарной частицы в современной физике. Почему физики говорят о том, что элементарные частицы не могут быть разложены на меньшие частицы. Ответ на этот вопрос отчетливо показывает, насколько современное естествознание абстрактнее греческой философии. Наше соображение на этот счет примерно такое: как можно разложить элементарные частицы? Единственные средства эксперимента, имеющиеся в нашем распоряжении, — это другие элементарные частицы. Поэтому столкновения двух элементарных частиц, обладающих чрезвычайно большой энергией движения, являются единственными процессами, в которых такие частицы, пожалуй, могут быть разложимы. Они распадаются при таких процессах иногда даже на много различных частей. Однако сами составные части — снова элементарные частицы, а не какие-нибудь маленькие части их, и их массы образуются из энергии движения столкнувшихся частиц. Другими словами: благодаря превращению энергии в материю составные части элементарных частиц — снова элементарные частицы того же вида» [33, с. 38].

Гипотеза кварков вносит коррективы в данное рассуждение, однако не меняет существа доводов Гейзенберга. Согласно принципу конфайнмента, кварки невозможно выделить в свободном состоянии, а следовательно, затруднительно ставить вопрос об их частях.

в) Третий, принципиально иной путь решения проблемы делимости материи отстаивал М. А. Марков, считавший, что *на некотором этапе элементарности малое (частица) должно отождествляться с максимально большим*, т. е. с полузамкнутым миром. Он предположил, что подобные частицы, названные им фридмонами, имеют размер планковской длины. Эта гипотеза, выдержанная в духе рассуждений Платона по кругу, рассмотрена во второй части книги, посвященной геометрическому видению мира.

Однако, поскольку между размерами кварков $l \sim 10^{-17}$ см. и планковской длиной $l_{Pl} \sim 10^{-33}$ см. лежит достаточно обширная область, то, согласно подходу Маркова, впереди еще можно ожидать новых открытий уровней элементарности частиц, пока не будет достигнута планковская длина.

3. *Материя (частица) неделима.* Эта позиция, соответствующая холистскому подходу, была высказана Дж. Уилером. «Однажды, — вспоминал в своей Нобелевской лекции Р. Фейнман, — в аспирантуру в Принстоне мне позвонил профессор Уилер и сказал: «Фейнман! Я знаю, почему у всех электронов одинаковый заряд и одинаковая масса», — «Почему же?» — «Потому что все это один и тот же электрон». И затем он тут же по телефону объяснил: «Представьте себе, что все мировые линии, которые мы с вами обычно рассматривали раньше в четырехмерном (пространстве-времени) пространстве (вместо того чтобы следить лишь за развитием траекторий во времени), запутаны в невероятный узел. Разрежем этот узел плоскостью, соответствующей некоторому фиксированному моменту времени. Тогда мы увидим множество мировых линий, и они будут соответствовать множеству электронов, правда за одной оговоркой. Если один отрезок такой линии будет соответствовать обычному электрону, то на другом отрезке, по которому он пятится назад, по которому он возвращается из будущего, будет обратный знак собственного времени — собственной четырехмерной скорости, а это эквивалентно изменению знака заряда. Другими словами, эта часть траектории будет описывать поведение позитрона». — «Но, профессор, говорю я, — позитронов ведь не столько, сколько электронов». — «Ну, может, они спрятаны в протонах или еще где-нибудь», — говорит он. Должен признаться, к его идее о том, что все электроны это на самом деле всего один электрон, я отнесся менее серьезно, нежели к его идее о том, что позитрон можно представить себе просто-напросто как электрон, возвращающий-

ся из будущего в прошлое по обратным участкам мировых линий. Эту, вторую идею я просто украл!» [119, с. 207].

4.2.2. Редукционизм по качеству

В физике элементарных частиц XX века большое внимание уделялось принципиально важному вопросу: существует ли один вид первочастиц, образующий все остальные или речь должна идти о наборах из двух, трех или большего числа элементарных частиц, составляющих всю остальную материю. Так, после работ Резерфорда высказывалась идея о двоичной системе мироздания: полагалось, что атомные ядра и все остальное можно построить исключительно из положительно заряженных протонов и отрицательно заряженных электронов. Но поскольку электроны не могли уместиться в ядре, это привело сразу же после открытия нейтронов к быстрому признанию протонно-нейтронной структуры ядра. Кроме того, примерно в это же время были обнаружены позитроны — положительно заряженные двойники электронов. В самом конце XX века в хромодинамике проявилась троичность первоматерии в виде кварков.

4.2.3. Редукционизм по сущности

К редукционизму по сущности отнесем деление всего множества частиц на три существенно важных подмножества: 1) *отдельных частиц или совокупностей частиц, представляющих объект рассмотрения*, 2) *частиц, составляющих тело отсчета*, 3) *прочих частиц окружающего мира*.

В рамках метафизики сущности категории частиц, как и в других аналогичных случаях, имеет место принцип фрактальности. Очевидно, что частицы как объекты рассмотрения, должны быть соотнесены с самой категорией частиц, тогда как частицы, составляющие тело отсчета, должны быть сопоставлены с категорией полей переносчиков взаимодействий. Последнее утверждение, взятое в отдельности, не очевидно, однако становится более понятным, если учесть, что тело отсчета позволяет определить важнейшее понятие в физике — систему отсчета, т. е. ввести совокупность чисел, характеризующих координаты частиц и метрику. Множество прочих частиц окружающего мира в ньютоновой классической механике формально не учитывается, однако, как показано в третьей части книги, оно необходимо для развертки (через принцип Маха) отношений в пространственно-временное многообразие.

Безусловно, названные виды редукционизма соотносимы с закономерностями общего деления на категории и парадигмы. В частности,

уже сам факт существования нескольких уровней атомизма (дискретности) вещества следует связать с названными выше общими парадигмами метафизики. Верхние два звена дискретности в разд. 4.1 — атомы и молекулы — описываются квантовой механикой, т. е. их открытие *неразрывно связано с переходом от триалистической* (*ньютоновой*) *парадигмы к дуалистической парадигме физического видения мира*. Исходя из этого, логично поставить вопрос: какой из метафизических парадигм обусловлены другие уровни атомизма в категории частиц?

Анализ сложившихся в теоретической физике парадигм позволяет сформулировать **принцип предельного монизма: теория монистической парадигмы (холизм) возникает на пределе делимости (редукционизма) категории частиц**. Более того, *будем полагать, что к концу XX века достигнут предел делимости частиц* (*вещества*) *в виде уже открытой системы лептонов и кварков*. Принцип предельного монизма означает принятие второй точки зрения на делимость вещества, однако в нем оказывается отраженной и третья точка зрения. В отличие от позиции А. М. Маркова, в данном принципе предел атомизма проявляется не в отождествлении предельно малого с предельно большим, а в обнаружении в предельно малом единой метафизической первоосновы, составляющей сущность всего наблюдаемого мира.

Из принципа предельного монизма вытекает ряд важных следствий, к которым, прежде всего, отнесем *понимание системы из лептонов и кварков как проявлений разных сторон единой сущности*. Выявленные свойства этих элементарных частиц следует положить в фундамент искомой теории монистической парадигмы, опирающейся на единую обобщенную категорию, вобравшую в себя все три ключевые физические категории. Другим следствием является *существование единой теории электрослабых и сильных взаимодействий*. В качестве третьего следствия можно назвать *возможность вывода классических пространственно-временных отношений из единой обобщенной категории монистической парадигмы*. Эти и ряд других следствий обсуждаются в третьей части книги.

4.3. Дуалистическая парадигма и полевое описание частиц

На пути к монистической парадигме рассмотрим ряд свойств частиц, проявляющихся в рамках *дуалистической парадигмы физического миропонимания* в связи с выделением и приданием самостоятельного характера категории пространства-времени.

Напомним, что в предыдущих главах при обсуждении принципа фрактальности отмечалось, что категории полей соответствует понятие метрики (числовой функции) и числа компонент характеристик этой категории. В дуалистической парадигме эти свойства бозонных полей переносятся и на фермионные поля. Оказывается, как число полевых компонент частиц, так и вид соответствующих волновых уравнений определяются из двух условий: во-первых, из условий вложения обобщенной категории полей в классическое пространство-время и, во-вторых, из характера метрики в квантовой теории поля — вероятности событий, задаваемой через амплитуды вероятности обнаружения фермионных полей в соответствующих местах пространства-времени. При этом возникают понятия спиноров, спина элементарных частиц и другие, отсутствовавшие в классической (триалистической) парадигме.

В квантовой механике обобщенная категория — поле рассматривается не как реально существующая, распределенная в пространстве субстанция, а как амплитуда вероятности обнаружения отдельной частицы в различных местах пространства. Уравнения поля (для амплитуды вероятности) представляют собой, можно сказать, лишь своеобразные *условия вложения обобщенной категории в классическое пространство-время.* Таковым является релятивистское волновое уравнение Клейна—Фока[1] для свободных массивных частиц

$$\eta^{\mu\nu}\frac{\partial^2\Phi}{\partial x^\mu \partial x^\nu} + \left(\frac{mc}{\hbar}\right)^2 \Phi = 0, \tag{4.3.1}$$

где Φ — релятивистская волновая функция, m — масса покоя частицы. Очевидно, что оно соответствует релятивистскому соотношению между энергией, импульсом и массой частицы (2.3.1) в специальной теории относительности, если произвести замену

$$p_\mu \to i\hbar\frac{\partial\Phi}{\partial x^\mu} \quad \to \quad \left(p_0 \equiv E = i\hbar\frac{\partial\Phi}{\partial x^0};\quad p_k = i\hbar\frac{\partial\Phi}{\partial x^k}\right). \tag{4.3.2}$$

При построении квантовой механики исследователи руководствовались не столько метафизическими соображениями, сколько логикой решения внутренних проблем науки. Оказалось, что уравнение Клейна—Фока, еще раньше записанное Шредингером, приводит к ряду недоразумений как в экспериментальном, так и в концептуальном планах. П. А. М. Дирак об этом писал: «В основе его (Шредингера — Ю. В.)

[1] Часто в литературе это уравнение называют уравнением Клейна—Гордона, однако известно, что последний получил этот результат позже В. А. Фока. По этой причине в работах ряда российских авторов предлагается исправить допущенную в названии ошибку.

идеи лежала удивительная связь между волнами и частицами, которую несколько раньше открыл де Бройль; эта связь, установленная де Бройлем, была великолепно доказана математически и согласовывалась с теорией относительности. Она казалась весьма таинственной, но ее математическое великолепие говорило о том, что между волнами и частицами должна существовать какая-то глубокая связь, иллюстрированная математическим способом. Идеи де Бройля были применимы только к свободным электронам (...) . Разумеется, было необходимо проверить, пригодно ли оно на практике. Шредингер применил его в задаче, связанной с электроном в атоме водорода, и получил спектр водорода. Его результат не совпал с экспериментом. Шредингер испытал большое разочарование. Это был пример того, как исследователь, находящийся накануне открытия, убеждается, что все его худшие опасения оправдались: такая прекрасная и так много обещавшая теория оказалась непригодной на практике.

Как же поступил Шредингер? Он был очень огорчен и, как мне рассказывал, на несколько месяцев все бросил. Затем, немного оправившись от огорчения, он вернулся к этой работе, причем заметил, что если он применяет свой метод с меньшей точностью, не принимая в расчет релятивистских эффектов, то при такой степени точности его теория совпадает с наблюдением. Тогда он опубликовал свою работу (...).

Шредингер проявил излишнюю робость, отказавшись от своего первого релятивистского уравнения, не совпадавшего с наблюдениями водородного спектра. Несколько позднее это уравнение было вновь открыто Клейном и Гордоном, которые опубликовали свою работу, несмотря на расхождения с наблюдением (...). Единственной заслугой Клейна и Гордона здесь было то, что они оказались достаточно отважными и их не смутило отсутствие совпадения между уравнением и наблюдением. В конечном результате уравнение это известно теперь как уравнение Клейна—Гордона, несмотря на то, что годом или двумя раньше оно было открыто Шредингером» [43].

Уравнение Шредингера соответствует нерелятивистскому соотношению между энергией и импульсом $\mathcal{E} = p^2/2m$. Чтобы к нему перейти от уравнения Клейна-Фока, последнее следует записать как дифференциальное уравнение первого порядка по временной производной. Это всегда можно сделать, перейдя к системе из двух уравнений первого порядка относительно двух неизвестных:

$$\varphi = \Phi + \frac{i\hbar}{mc}\frac{\partial\Phi}{\partial x^0}; \quad \chi = \Phi - \frac{i\hbar}{mc}\frac{\partial\Phi}{\partial x^0}. \tag{4.3.3}$$

Заметим, что в предыдущей главе аналогичная процедура была применена при переходе от волновых уравнений для электромагнитного век-

торного потенциала A_μ (3.2.4) к уравнениям первого порядка для компонент напряженностей электромагнитного поля $F_{\mu\nu}$ (3.2.9).

Учитывая, что для нерелятивистских частиц в нулевом приближении можно положить энергию равной mc^2, т. е.

$$i\hbar\frac{\partial\Phi}{\partial x^0} \approx mc\Phi \to \chi \ll \varphi, \tag{4.3.4}$$

приходим к уравнению Шредингера относительно лишь одной неизвестной φ:

$$i\hbar\frac{\partial\varphi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2\varphi, \tag{4.3.5}$$

где, напомним, $x^0 = ct$, а оператор ∇^2 означает сумму пространственных производных второго порядка.

В нерелятивистском приближении волновая функция частицы $\varphi(x)$ определяет вероятность $\rho(x)$ пребывания частицы в соответствующих точках пространства-времени

$$\rho(x) = \varphi^*(x)\varphi(x), \tag{4.3.6}$$

где $\varphi^*(x)$ — комплексно сопряженная волновая функция частицы. Согласно этому выражению, волновая функция частицы предстает как своеобразный «квадратный корень» из классической вероятности. Это чрезвычайно важное соотношение, отражающее суть корпускулярно-волнового дуализма в квантовой механике (дуалистической парадигмы физического миропонимания).

Умножая уравнение Шредингера слева на φ^* и вычитая из него комплексно сопряженное уравнение, при учете (4.3.6) приходим к уравнению непрерывности

$$\frac{\partial\rho}{\partial t} + div\vec{j} = 0, \tag{4.3.7}$$

где плотность тока имеет вид

$$\vec{j} = -\frac{i\hbar}{2m}(\varphi^*\vec{\nabla}\varphi - \varphi\vec{\nabla}\varphi^*). \tag{4.3.8}$$

При попытке дать аналогичную интерпретацию релятивистской волновой функции Φ возникают трудности концептуального характера. Действительно, осуществив подобную процедуру перехода от релятивистского уравнения Клейна—Фока (4.3.1) к уравнению непрерывности (4.3.7), приходим к выводу, что для плотности вероятности ρ необходимо положить вместо (4.3.6)

$$\rho = \frac{i\hbar}{2mc^2}\left(\Phi^*\frac{\partial\Phi}{\partial t} - \frac{\partial\Phi^*}{\partial t}\Phi\right). \tag{4.3.9}$$

Но это выражение из-за производных по t может принимать как положительные, так и отрицательные значения, что недопустимо для плотности вероятности. Как писал Дирак, «когда пробовали работать с релятивистским уравнением, носящим название уравнения Клейна—Гордона, возникало не только расхождение с наблюдением, но и расхождение с логической интерпретацией уравнения. Если применять обычные правила, установленные для квантовой механики, то уравнение Клейна—Гордона, по-видимому, привело бы нас к отрицательным вероятностям, которые, конечно, совершенно абсурдны» [43].

4.4. Уравнения Дирака

Чтобы преодолеть концептуальную трудность с определением вероятности нахождения частиц в отдельных точках пространства-времени Минковского, пришлось перейти к большему числу компонент волновой функции частиц фактически по уже использованному рецепту при получении уравнения Шредингера или при получения уравнений Максвелла для напряженностей электромагнитного поля, — первичными компонентами волновой функции частиц были объявлены комбинации, содержащие первые производные от координат. Автор этого результата П. А. М. Дирак писал: «Уравнение Клейна—Гордона нуждалось в какой-то модификации. В течение некоторого времени оно приводило меня в недоумение, а затем я подумал о другом уравнении, которое преодолело бы логические трудности отрицательных вероятностей» [43].

Поясним суть уравнений, открытых Дираком. При переходе от уравнения Клейна—Фока (4.3.1) к нерелятивистскому уравнению Шредингера, произведенному с помощью формул (4.3.3), была нарушена симметрия временной и пространственных координат. Необходимо было найти уравнения, которые содержали бы только первые производные и по временной, и по пространственным координатам. Из опыта перехода к уравнению Шредингера ясно, что в таком случае одна функция Ф должна замениться набором из нескольких функций, которые обозначим через $\psi_{(a)}$, где символ a пробегает некоторое число n значений. В самом общем случае система релятивистски инвариантных уравнений первого порядка, симметрично содержащих весь набор функций, имеет вид

$$\psi_{(a)} = -\frac{i\hbar}{mc}\gamma^{\mu}_{(ab)}\frac{\partial\psi_{(b)}}{\partial x^{\mu}}, \tag{4.4.1}$$

где $\gamma^{\mu}_{(ab)}$ — совокупность коэффициентов, стоящих при первых производных. Перед слагаемыми справа введен коэффициент размерности сантиметра, построенный из имеющихся фундаментальных констант, мнимая

единица выбрана из соображений удобства. По индексу b производится суммирование по всем его возможным значениям.

Поскольку индексы a и b при коэффициентах $\gamma^{\mu}_{(ab)}$ пробегают одинаковую совокупность значений, то коэффициенты удобно записывать в виде квадратных $n \times n$ матриц. Это диктует целесообразность представления набора функций $\psi_{(a)}$ (компонент амплитуды вероятности) в виде n-столбца, а суммирование по b в (4.4.1) трактовать через правила умножения квадратной матрицы на столбец. При таких обозначениях соотношения (4.4.1) можно переписать в матричном виде

$$i\gamma^{\mu}\frac{\partial\psi}{\partial x^{\mu}} + \frac{mc}{\hbar}\psi = 0. \tag{4.4.2}$$

Чтобы окончательно решить поставленную задачу и получить уравнения Дирака, нужно определить вид матричных коэффициентов γ^{μ}. Их свойства находятся из условия, что каждая из функций столбца ψ должна удовлетворять релятивистскому волновому уравнению Клейна—Фока (4.3.1), — условию вложимости в пространство-время Минковского. Это несложно сделать, причем различными способами. Проще всего это достигается умножением (4.4.2) слева на некоторое выражение того же сорта и отождествлением результата с совокупностью уравнений Клейна—Фока для всех компонент амплитуды вероятности:

$$\left(-i\gamma^{\nu}\frac{\partial}{\partial x^{\nu}} + \frac{mc}{\hbar}\right)\left(i\gamma^{\mu}\frac{\partial\psi}{\partial x^{\mu}} + \frac{mc}{\hbar}\psi\right) = I_n\left[\eta^{\mu\nu}\frac{\partial^2\psi}{\partial x^{\mu}\partial x^{\nu}} + \left(\frac{mc}{\hbar}\right)^2\right]\psi = 0, \tag{4.4.3}$$

где I_n — квадратная единичная $n \times n$-матрица. Легко видеть, что данное отождествление возможно лишь в том случае, если совокупность из четырех γ-матриц удовлетворяет условиям:

$$\gamma^{\mu}\gamma^{\nu} + \gamma^{\nu}\gamma^{\mu} = 2I_n\eta^{\mu\nu}, \tag{4.4.4}$$

которые не позволяют однозначно установить вид матриц, однако во многих случаях этого знать и не надо.

Из этих условий следует, что *минимальное n, для которого можно подобрать четыре матрицы γ^{μ} с комплексными элементами, равно четырем ($n = 4$)*. Такие матрицы называются матрицами Дирака. Следовательно, *волновая функция, описывающая категорию частиц, является комплексной 4-компонентной*. В соответствии с этим, соотношения (4.4.2), называемые уравнениями Дирака, представляют собой систему из четырех комплексных уравнений. Такие поля принято называть фермионными.

Заметим, что использованную в (4.4.4) процедуру, когда слева стоит квадратичная комбинация из выражений, соответствующих уравнениям

Дирака, можно трактовать как «своеобразное извлечение квадратного корня», но теперь уже не из плотности вероятности, а из уравнения Клейна—Фока.

Уравнения Дирака (4.4.2) для свободных частиц можно получить вариационным методом из плотности лагранжиана вида

$$\mathcal{L}_0 = \frac{i\hbar c}{2}\left(\overline{\psi}\gamma^\mu\frac{\partial\psi}{\partial x^\mu} - \frac{\partial\overline{\psi}}{\partial x^\mu}\gamma^\mu\psi + \frac{imc}{\hbar}\overline{\psi}\psi\right). \tag{4.4.5}$$

В этом выражении содержится массовое слагаемое, вводимое волевым образом без использования механизма Хиггса, о котором упоминалось в предыдущей главе.

Умножая уравнения Дирака (4.4.2) слева на $\psi^\dagger$ и вычитая из него комплексно сопряженное выражение, приходим к уравнению непрерывности

$$\frac{\partial(\overline{\psi}\gamma^\mu\psi)}{\partial x^\mu} = 0 \quad \rightarrow \quad \frac{\partial\rho}{\partial x^0} + div\vec{j} = 0, \tag{4.4.6}$$

где $\overline{\psi} = \psi^\dagger\gamma^0$, записываемое в виде строки, и

$$j^\mu = \overline{\psi}\gamma^\mu\psi \quad \rightarrow \quad \left(\rho = \overline{\psi}\gamma^0\psi = \psi^\dagger\psi; \quad \vec{j} \rightarrow j^k = \overline{\psi}\gamma^k\psi\right) \tag{4.4.7}$$

— плотность вероятности и плотность тока, представленные как временная и пространственные компоненты единого 4-мерного вектора. Это и есть релятивистское обобщение плотности вероятности ρ и уравнения непрерывности.

Легко показать, что уравнения Дирака для свободных частиц допускают решение в виде плоской волны вида

$$\psi(x^0, x^k) = u(\vec{p})\exp\left(\frac{ip_\mu x^\mu}{\hbar}\right), \tag{4.4.8}$$

где 4-компонентная функция ψ представлена в виде двух частей: координатной (экспоненты), характеризующей волновой характер решения, и спинорной части $u(\vec{p})$, зависящей только от компонент импульса p^μ этой частицы.

Имеются решения уравнения Дирака как с положительной, так и с отрицательной энергиями $E = \pm\sqrt{\vec{p}^2 + m^2}$. Они интерпретируются как соответствующие частице (электрону) и античастице (позитрону). Позитроны были обнаружены экспериментально вскоре после открытия уравнения Дирака.

Записанные выше уравнения Дирака задают амплитуду вероятности обнаружения частицы идеализированным прибором в соответствующем месте пространства-времени, а для описания взаимодействия частицы

с другой пространственно разнесенной частицей, используется методика, принятая в концепции близкодействия (в триалистической парадигме), — вводится источник поля, конструируемый из амплитуд вероятности обнаружения частицы идеализированным прибором и компонент бозонных полей (переносчиков взаимодействий).

Это можно сделать либо прямо в уравнениях Дирака, либо в лагранжиане (4.4.5) посредством замены частных производных на удлиненные производные, записанные в предыдущей главе. Для случая электромагнитного взаимодействия из (4.4.5) получается выражение, расщепляющееся на две части

$$\mathcal{L}_0 \to \mathcal{L}_0 + \mathcal{L}_{int}, \tag{4.4.9}$$

где последнее слагаемое

$$\mathcal{L}_{int} = eA_\mu \overline{\psi}\gamma^\mu\psi \tag{4.4.10}$$

описывает взаимодействие частиц с электромагнитным полем.

Из (4.4.9) вариационным методом можно получить уравнения Дирака для электромагнитно взаимодействующих частиц в виде

$$\left(-i\gamma^\mu\frac{\partial}{\partial x^\mu} + \frac{e}{c\hbar}A_\mu\gamma^\mu + \frac{mc}{\hbar}\right)\psi = 0. \tag{4.4.11}$$

Но можно к этому же уравнению прийти непосредственно из уравнения Дирака (4.4.2) для свободных частиц, заменив в нем частную производную на удлиненную, согласно формуле (3.6.2).

На основе решений системы уравнений (4.4.11) для электрона в сферически симметричном электрическом поле ядра атома строится теория атомов как водородоподобных, так и более сложных. Таким образом объясняется строение наблюдаемого вещества. В связи с этим вспомним метафизический вопрос, обсуждавшийся на протяжении многих веков. Некоторые мыслители античности и нового времени считали, что атомы являются точечными и бились над проблемой, как из точечных атомов можно составить 3-мерные классические тела конечных размеров. На этот древний вопрос позволила ответить квантовая механика, в рамках которой было показано, как из решения волновых уравнений (при учете электромагнитного взаимодействия ядра и электронов) получается объемный атом.

4.5. Математика двоичности. Спиноры

Корпускулярно-волновой дуализм в релятивистской теории диктует использование 4-компонентных комплексных волновых функций со специфическими свойствами многоликой двоичности. Двоичность можно

усмотреть уже в самих комплексных числах, — для них можно строить комплексно сопряженные выражения. Так, в нерелятивистской квантовой теории вероятность (4.3.6) определялась в виде произведения амплитуды вероятности на комплексно сопряженную величину. В релятивистской теории также проявляется двоичность: 4-компонентному столбцу ψ ставится в соответствие 4-компонентная строка $\overline{\psi} = \gamma^0\psi^\dagger$. Имеется ряд других проявлений двоичности.

Матрицы Дирака обычно выбирают постоянными, раз навсегда заданными[1], тогда компоненты ψ и $\overline{\psi}$ должны преобразовываться при координатных преобразованиях неким специальным образом, а именно так, чтобы компоненты j^μ в (4.4.7) преобразовывались по векторному закону. В этом случае ψ следует понимать как полувектор или опять как «своеобразный квадратный корень», но уже из вектора j^μ. Такие величины принято называть *спинорами*.

Спиноры как математический объект были открыты Э.Картаном в 20-х годах XX века, — именно в тот момент, когда возникла потребность их в физике. Довольно быстро было осознано, что уравнения Дирака можно понимать как уравнения именно для спинорных волновых функций.

2-Компонентные спиноры. Математическое определение простейших 2-компонентных спиноров опирается на три положения.

Во-первых, спинор является вектором 2-мерного комплексного пространства, т. е. описывается двумя компонентами, которые будем записывать в виде 2-компонентного столбца

$$\vec{\xi} \to \xi^r = \begin{pmatrix} \xi^1 \\ \xi^2 \end{pmatrix}. \tag{4.5.1}$$

Во-вторых, полагается, что в комплексном пространстве определена группа линейных преобразований

$$\xi'^s = C^s_r \xi^r, \tag{4.5.2}$$

где C^s_r — совокупность из четырех комплексных коэффициентов, определяющих линейное преобразования от одних компонент вектора к другим, помеченным штрихами; индексы s и r пробегают два значения: 1 и 2. По повторяющимся индексам подразумевается суммирование.

[1] Имеется другая возможность: четыре матрицы γ^μ можно рассматривать как компоненты 4-мерного вектора (имеющийся произвол в их определении позволяет это сделать), тогда релятивистская инвариантность уравнений Дирака очевидна независимо от закона преобразования компонент ψ.

В-третьих, постулируется, что для любых двух векторов ξ^s η^r 2-мерного векторного пространства антисимметричная комбинация, построенная из их компонент, инвариантна (неизменна) относительно линейных преобразований (4.5.2), т. е.

$$\xi^1\eta^2 - \xi^2\eta^1 = inv. \tag{4.5.3}$$

Это означает, что на 4 комплексные коэффициента преобразований C^s_r наложено одно комплексное условие:

$$C^1_1C^2_2 - C^1_2C^2_1 = 1. \tag{4.5.4}$$

Очевидно, что из восьми вещественных чисел, составляющих четыре комплексных коэффициента C^s_r, независимыми остаются 6 чисел. Этим определяется 6-параметрическая группа линейных преобразований, называемая *группой унимодулярных преобразований* $SL(2,C)$.

Поскольку компоненты спинора комплексны, то 2-мерному пространству спиноров можно поставить в соответствие 2-мерное пространство *коспиноров* с комплексно сопряженнымип компонентами. В таком пространстве также имеется группа линейных преобразований $SL(2,C)$ с комплексно сопряженными коэффициентами $\overset{*}{C}{}^s_r$.

Напомним, что группа преобразований Лоренца $O(1,3)$ в 4-мерном пространстве-времени Минковского также является 6-параметрической. Оказывается, между двумя группами преобразований $SL(2,C)$ и $O(1,3)$ имеется тесная связь. Так, величина с 4 вещественными компонентами k^μ, построенными из 2 комплексных компонент спинора ξ^s согласно формулам:

$$k^0 = \xi^\dagger I_2 \xi = \overset{*}{\xi}{}^1\,\xi^1 + \overset{*}{\xi}{}^2\,\xi^2;$$

$$k^1 = \overset{*}{\xi}{}^2\,\xi^1 + \overset{*}{\xi}{}^1\,\xi^2; \quad k^2 = i(\overset{*}{\xi}{}^2\,\xi^1 - \overset{*}{\xi}{}^1\,\xi^2); \quad k^3 = \overset{*}{\xi}{}^1\,\xi^1 - \overset{*}{\xi}{}^2\,\xi^2, \tag{4.5.5}$$

изменяется при преобразованиях спинора (4.5.2) (с условиями (4.5.4)) как изотропный 4-вектор в пространстве-времени Минковского. Напомним, что условие изотропности означает

$$\eta_{\mu\nu}k^\mu k^\nu = (k^0)^2 - (k^1)^2 - (k^2)^2 - (k^3)^2 = 0. \tag{4.5.6}$$

Введенные выше векторы могут описывать скорости (импульсы) безмассовых частиц (нейтрино), движущихся по световым линиям.

На коэффициенты C^s_r в (4.5.2) можно наложить более жесткие условия. Пусть, кроме (4.5.4), выполняется условие инвариантности компоненты $k^0 = inv$. В этом случае группа $SL(2,C)$ сужается до

3-параметрической *группы унитарных унимодулярных преобразований* $SU(2)$, соответствующей 3-параметрической группе вращений $O(3)$ 3-мерного евклидова пространства. Эта группа также широко используется в калибровочном подходе к описанию электрослабых взаимодействий.

Из изложенного, в частности, из (4.5.6) следует, что теория 2-компонентных комплексных спиноров соответствует, во-первых, 4-мерности и, во-вторых, сигнатуре $(+\ -\ -\ -)$ пространства-времени. Можно утверждать, что *за спинорным исчислением кроется глубокий метафизический смысл: в 2-компонентных спинорах проявляется не просто двоичность, а двоичность, соответствующая троичности, — пространственной 3-мерности.*

Биспиноры. Массивные частицы, движущиеся с скоростями $v < c$, следует описывать парами 2-компонентных спиноров ξ^s и η^s, причем 4-скорости следует определять выражениями:

$$u^0 = \xi^\dagger I_2 \xi + \eta^\dagger I_2 \eta; \quad u^i = k^i(\xi) + k^i(\eta), \tag{4.5.7}$$

где изотропные векторы $k^i(\xi)$ и $k^i(\eta)$ определены из компонент соответствующих спиноров, согласно (4.5.5). Легко видеть, что сумма двух изотропных векторов, например, верхнего светового конуса, дает вектор, лежащий внутри этого конуса.

В общепринятой теории поля при описании массивных частиц фактически так и поступают, используя не 2-компонентные, а полученные из уравнений Дирака 4-компонентные столбцы, иначе называемые *биспинорами*. Некоторая тонкость заключена лишь в виде записи четырех компонент столбца. Можно сказать, что в стандартной теории использован принцип тройной симметрии:

а) симметрии двух 2-компонентных спиноров;
б) симметрии спинора и сопряженного спинора;
в) симметрии ковариантных и контравариантных компонент спиноров.

В итоге 4-компонентный столбец ψ оказывается представленным в виде

$$\psi = \begin{pmatrix} \psi_1 \\ \psi_2 \\ \psi_3 \\ \psi_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \xi^1 \\ \xi^2 \\ \overset{*}{\eta}{}^2 \\ -\overset{*}{\eta}{}^1 \end{pmatrix}, \tag{4.5.8}$$

а сопряженный ему биспинор в (4.4.7) — в виде строки

$$\overline{\psi} = \psi^\dagger \gamma^0 = -(\eta^2, -\eta^1, \overset{*}{\xi}{}^1, \overset{*}{\xi}{}^2). \tag{4.5.9}$$

Данный вид представления ψ-функции оправдан удобством записи многих выражений, возникающих в теории фермионных полей. Чтобы это продемонстрировать вернемся к виду матриц Дирака. Как уже отмечалось, условия (4.4.4) не позволяют однозначно установить их вид, тем не менее выпишем одно из часто используемых представлений матриц Дирака:

$$\gamma^0 = -\begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \equiv -\begin{pmatrix} 0 & I_2 \\ I_2 & 0 \end{pmatrix};\ \gamma^1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \equiv \begin{pmatrix} 0 & \sigma_1 \\ -\sigma_1 & 0 \end{pmatrix};$$

$$\gamma^2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & -i \\ 0 & 0 & i & 0 \\ 0 & i & 0 & 0 \\ -i & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \equiv \begin{pmatrix} 0 & \sigma_2 \\ -\sigma_2 & 0 \end{pmatrix};\ \gamma^3 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \equiv \begin{pmatrix} 0 & \sigma_3 \\ -\sigma_3 & 0 \end{pmatrix},$$

где I_2 — 2-рядная единичная матрица, а символами σ_s обозначены три 2-рядные матрицы Паули:

$$\sigma_1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix};\quad \sigma_2 = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix};\quad \sigma_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}, \tag{4.5.10}$$

играющие в спинорном счислении важную роль.

Введем пятую γ-матрицу через произведение четырех матриц Дирака

$$\gamma_5 = \gamma^0\gamma^1\gamma^2\gamma^3 = -i\begin{pmatrix} I_2 & 0 \\ 0 & -I_2 \end{pmatrix}. \tag{4.5.11}$$

Эта матрица также имеет блочный вид. С ее помощью можно расщепить 4-компонентную волновую функцию на две 2-компонентные части:

$$\psi = \begin{pmatrix} \psi_1 \\ \psi_2 \\ \psi_3 \\ \psi_4 \end{pmatrix} \equiv \psi_L + \psi_R, \tag{4.5.12}$$

где

$$\psi_L = \frac{1}{2}(I_4 + i\gamma_5)\psi = \begin{pmatrix} \psi_1 \\ \psi_2 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix};\qquad \psi_R = \frac{1}{2}(I_4 - i\gamma_5)\psi = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \psi_3 \\ \psi_4 \end{pmatrix}, \tag{4.5.13}$$

называемые соответственно *левой* и *правой* компонентами волновой функции. Они описываются двумя 2-компонентными спинорами, введенными выше.

Левая и правая компоненты волновых функций частиц играют важную роль в модели электрослабых взаимодействий Вайнберга—Салама—Глэшоу, — они по-разному взаимодействуют с бозонными полями.

Легко видеть, что 4-вектор j^μ в (4.4.7), записанный через 4-рядные матрицы Дирака γ^μ, представляется именно в форме выражений (4.5.7), соответствующей блочному виду матриц γ^μ.

Можно также убедиться, что выражение

$$-\overline{\psi}\psi = (\xi^1\eta^2 - \xi^2\eta^1) + (\overset{*}{\xi}{}^1\overset{*}{\eta}{}^2 - \overset{*}{\xi}{}^2\overset{*}{\eta}{}^1) \tag{4.5.14}$$

представляется в виде суммы инвариантов вида (4.5.3) в пространствах спиноров и сопряженных спиноров, т. е. является инвариантом относительно преобразований Лоренца.

В нерелятивистском случае две компоненты ψ из четырех имеют порядок $v/c \ll 1$, т. е. ими можно пренебречь по сравнению с двумя оставшимися. Вспомним, что такая же ситуация была при переходе от уравнения Клейна—Фока к уравнению Шредингера, когда одна из двух функций оказалась малой. Уравнения Шредингера тогда рассматривались относительно одной оставшейся функции. В данном случае остаются две существенные компоненты функции ψ, которые интерпретируются как две возможные проекции спина частицы: плюс и минус половина (левая и правая поляризации).

К. Готтфрид и В. Вайскопф, анализируя состояние физики элементарных частиц во второй половине XX века, заявили: «Тот удивительный факт, что все фундаментальные фермионы в физике элементарных частиц (электроны, нейтрино, кварки и т. п.) обладают спином $s = 1/2$, до сих пор не получил объяснения» [35, с. 58]. Этот факт, действительно, может представляться удивительным и необъясненным, но лишь с точки зрения триалистической парадигмы, тогда как в дуалистической парадигме физического миропонимания он естественен и вполне объясним, что и было продемонстрировано выше.

4.6. Гипотеза единой нелинейной спинорной теории поля

В течение XX века предпринимались попытки сведения всех полей к одному виду, т. е. исследовалась программа построения единой теории поля. Как уже отмечалось в предыдущей главе, на первой стадии доминировало стремление описать всю материю на основе одних бозонных полей. На второй стадии, имевшей пик популярности в 50-х — 60-х годах XX века, эту задачу пытались решить на основе теории нелинейных

фермионных полей. Так, один из ее горячих сторонников Д. Д. Иваненко в те годы писал: «По-видимому, нелинейная спинорная теория является наиболее обоснованной, если не единственной надеждой современной физики в смысле построения объединенного описания всей материи» [53, с. 37].

У истоков этого направления исследований, составивших вторую стадию поиска единой теории поля, стоял Л. де Бройль. Основная идея была прежняя, однако теперь предлагалось исходить не из нелинейных уравнений бозонных полей, а из нелинейных обобщений спинорных уравнений Дирака. Тем самым с самого начала исключалась существенная трудность первой стадии, связанная с описанием спинорных свойств частиц, а бозонные поля предлагалось строить из фермионных полей посредством гипотезы слияния. Известно, что из спиноров можно образовать векторы и тензоры, но не наоборот.

Как писал Д. Д. Иваненко, «спинорный характер фундаментального поля вытекает из аргументов де Бройля и модели сложных частиц. Если стоять на точке зрения единой теории и вводить лишь одно поле, то это поле может взаимодействовать только с самим собою; а оно должно с чем-то взаимодействовать, чтобы давать возбужденные состояния в виде различных частиц. Следовательно, уравнения спинорной материи должны быть нелинейными. Таким образом, отправным пунктом должно явиться уравнение, обобщающее спинорное уравнение Дирака членом типа ψ^3, предложенное нами в 1938 г. и анализировавшееся впоследствии в наших работах с Бродским, группой Финкельстейна и другими... Возникает вопрос относительно установления всех возможных нелинейных добавок к спинорному уравнению или соответствующих инвариантов типа ψ^4» [53, с. 15].

Исследовались различные варианты нелинейных обобщений уравнений Дирака:

$$i\gamma^\mu \frac{\partial \psi}{\partial x^\mu} + \lambda\psi^3 = 0; \qquad i\gamma^\mu \frac{\partial \psi}{\partial x^\mu} + \lambda(\overline{\psi}\psi)^{1/3} = 0;$$

$$i\gamma^\mu \frac{\partial \psi}{\partial x^\mu} + \lambda(\psi^\dagger \gamma_\mu \gamma_5 \psi)\gamma^\mu \gamma_5 \psi = 0; \ldots, \tag{4.6.1}$$

где $\lambda \equiv l^2$ — квадрат фундаментальной длины.

Значительный импульс исследованиям такого рода придали работы В. Гейзенберга конца 50-х годов, который следующим образом охарактеризовал суть данной программы: «В проблеме основного уравнения речь идет о нелинейном волновом уравнении для операторов поля. Это уравнение рассматривается как математическое представление всей материи, а не какого-либо определенного вида элементарных частиц или полей.

Это волновое уравнение математически эквивалентно сложной системе интегральных уравнений, которые, как говорят математики, обладают собственными значениями и собственными решениями. Собственные решения представляют элементарные частицы. Следовательно, они суть математические формы, которые заменяют правильные тела пифагорейцев» [33, с. 37].

Заметим, что идеи этого направления исследований были естественны для 50-х — 60-х годов, когда еще не выдвинулся на первый план принципиально различный характер спинорных и бозонных (калибровочных) полей. Кроме того, в таких теориях имеются и другие трудности нелинейных теорий, названные при обсуждении единой бозонной теории поля. Постепенно интерес к этим исследованиям угас, хотя вера в эту идею среди части физиков окончательно не пропала.

4.7. Гипотеза объединения полей на основе суперсимметрии

Третью стадию объединения бозонных и фермионных полей составили исследования так называемых суперсимметричных теорий, основанных не на включении одной разновидности поля в другую, а на их представлении в виде проявлений некоего единого суперполя — супермультиплета. Выдвинуть эту программу позволило открытие закона совместного преобразования фермионных и бозонных величин. Симметрия относительно таких преобразований была названа *суперсимметрией*.

Второй физической категорией является пространство-время, точнее, специфическое обобщение классического пространства-времени до так называемого *суперпространства* которое можно понимать как своеобразное многомерное пространство-время. Однако, если в теориях Калуцы—Клейна, которые будут обсуждаться ниже, оно вводится для геометрического описания бозонных полей, то в суперсимметричных теориях оно предназначено для описания именно спинорных полей. Можно сказать, что этот подход составляет вершину дуалистической парадигмы физического видения мира.

Уже в теориях Калуцы—Клейна дополнительные размерности (координаты) имеют существенно иной характер по сравнению с классическими: они компактифицированы (замкнуты). При определении суперпространства наблюдается еще больший отход от привычного понимания координаты как вещественного числа, — дополнительные орты описываются элементами алгебры Грассмана.

Напомним, что понятие вещественного числа многократно обобщалось, причем по разным направлениям. Отдельные вещественные числа — скаляры — были обобщены до векторных и тензорных величин. По другому признаку было сделано обобщение в сторону комплексных чисел. Были введены спиноры различного ранга, биспиноры. В математике широко представлены и другие величины, например, известны арифметики с конечным числом элементов и т. д.

Другое обобщение понятия числа связано с отказом от известного правила: от перемены мест сомножителей (слагаемых) произведение не меняется. В математике есть теории, где оно может измениться. Это реализуется в алгебрах Клиффорда, Грассмана и других, характеризующихся конечным числом образующих, для которых имеют место специальные правила умножения. Так, описание спинорных величин заставило использовать γ-матрицы Дирака, которые являются образующими соответствующей алгебры Клиффорда. Для них имеют справедливы ранее выписанные соотношения (4.4.4). Все 4×4-матрицы с комплексными элементами можно построить из γ-матриц и их произведений.

В алгебре Грассмана с четырьмя образующими θ_α ($\alpha=1,2,3,4$) имеют место правила (антикоммутации) с нулевой правой частью

$$\theta_\alpha\theta_\beta+\theta_\beta\theta_\alpha=0 \tag{4.7.1}$$

для любых значений α и β. В простом суперпространстве точки характеризуются восьмью обобщенными координатами: четырьмя классическими x^μ и четырьмя новыми при образующих алгебры Грассмана.

Как известно, в пространстве-времени Минковского имеется 10-параметрическая группа координатных преобразований Пуанкаре:

$$x'^\mu=L^\mu_{\cdot\nu}x^\nu;\quad x'^\mu=x^\mu+a^\mu, \tag{4.7.2}$$

где $L^\mu_{\cdot\nu}$ — 6 параметров, характеризующих преобразование Лоренца, и a^μ — четыре параметра, определяющие трансляции — сдвиги. В простом суперпространстве аналогичным образом определяется расширенная, 14-параметрическая группа Пуанкаре, в которой аналогично (4.7.2) выступают супертрансляции и повороты. Супертрансляции перепутывают классические координаты и грассмановы переменные. При обычных преобразованиях Лоренца грассмановы переменные преобразуются как компоненты спинора.

Четверка дополнительных антикоммутирующих величин θ_α характеризует минимальное обобщение классического пространства-времени, т. е. определяет простое суперпространство, соответствующее как бы

5-мерной теории Калуцы—Клейна. Аналогично переходу к 6, 7 и большему числу измерений в теориях Калуцы—Клейна, в суперсимметричных теориях можно брать несколько четверок антикоммутирующих величин $\theta_{\alpha b}$, снабдив их индексом b,где $b = 1, 2, \cdots, N$. В зависимости от числа N говорят о расширенной N-суперсимметрии.

В суперсимметричной теории на фоне суперпространства определяются обобщенное поле (вторая физическая категория) — так называемое *суперполе* $\Phi(x, \theta)$, зависящее от 8 обобщенных координат в случае простой суперсимметрии или от 4+4N координат в случае N-расширенной суперсимметрии. Далее предполагается, что суперфункцию $\Phi(x, \theta)$ можно раскладывать в ряды по переменным $\theta_{\alpha b}$. Здесь возникает чрезвычайно любопытная ситуация, принципиально отличающаяся от имеющейся в теории функций обычных переменных. Вместо бесконечного ряда получается конечное число членов разложения. Это связано со свойствами алгебры Грассмана, в которой можно строить произведения из количества слагаемых, не превышающего число образующих алгебры. Как только появятся две одинаковые образующие, путем антикоммутационных соотношений (4.7.1) их можно поставить рядом, а их квадрат равен нулю. В общем случае при каждом слагаемом разложения по степеням θ будет стоять некоторая тензорная или спинорная функция в зависимости от того, при четной или нечетной степени θ она стоит. Следовательно, суперполе $\Phi(x, \theta)$ характеризуется набором функций-коэффициентов разложения (супермультиплетом), где спинорные и тензорные величины входят симметричным образом.

Лагранжиан суперсимметричной теории строится из инвариантных выражений, содержащих суперполе и первые производные от него по координатам, как классическим, так и $\theta_{\alpha b}$. Разработана теория, соответствующая интегральному и дифференциальному исчислению с величинами из алгебры Грассмана, которая имеет много необычного по сравнению с привычным математическим анализом, однако в ней все операции четко определены и довольно просты. Супердействие в суперсимметричной теории определяется, как обычно, в виде интеграла по всем переменным. После интегрирования по грассмановым переменным получается 4-мерное действие, выражающееся только через 4-мерные спинорные и бозонные функции (ранее упомянутые коэффициенты разложения) в 4-мерном пространстве-времени.

Грассмановы переменные в итоговых выражениях не встречаются. Они выполнили свою роль, определив окончательные комбинации из фермионных и бозонных полей. В итоге возникает некая симметрия

между совокупностями фермионных и бозонных полей, что породило надежды на решение ряда проблем.

Во-первых, физики ожидали, что суперсимметричные теории приведут к некоему фундаментальному набору из бозонных и фермионных полей, который бы явился теоретическим обоснованием наблюдаемого на опыте набора частиц и полей, и таким образом удастся предсказать новые частицы. Но это ожидание не оправдалось. С ростом N число полей быстро увеличивается, и как ими распорядиться, не известно.

Во-вторых, предполагалось скомбинировать из множества получающихся полей супермультиплета комбинации, соответствующие объединенной теории электрослабых и сильных взаимодействий. Другими словами, надеялись с помощью этой теории построить теорию великого объединения, однако и эти надежды не оправдались.

В-третьих, ожидалось, что на основе суперсимметрии удастся построить квантовую теорию поля, свободную от расходимостей. Известно, что в квантовой теории поля появляются бесконечно большие величины. Их приходится тем или иным образом устранять, т. е. перенормировать теорию. Анализ показал, что одни расходимости обусловлены бозонными полями, а другие — фермионными, причем в ряде случаев расходимости возникают с разными знаками. При наличии симметрии между теми и другими полями в некоторых случаях расходимости удается взаимно погасить. Однако глобального решения данной проблемы здесь также не было получено.

Теория суперсимметрии в 80-х годах обладала настолько большой притягательной силой, что даже отсутствие экспериментальных подтверждений не очень смущало ее сторонников. Многие из них верили (и продолжают верить), что заложенные в основу теории принципы настолько «красивы», что не могут не реализовываться в природе. Тем не менее неосуществившиеся надежды заставили усомниться в фундаментальности принципа суперсимметрии.

4.8. Лептоны

Как уже отмечалось, в физике элементарных частиц вскрыт ряд закономерностей, которые не нуждаются в классических пространственно-временных представлениях, а описываются с помощью так называемых внутренних симметрий (пространств). В этом смысле можно утверждать, что эти закономерности обусловлены уже не дуалистической парадигмой физического миропонимания, а теорией иной парадигмы —

монистической. Поскольку общепринятой теории такого рода еще не построено, то на полученные результаты в рамках калибровочного подхода и другие сведения феноменологического характера предлагается смотреть как на вспомогательные данные, необходимые для построения искомой теории монистической парадигмы. Начнем с обсуждения известных сведений о лептонах, участвующих лишь в электрослабых взаимодействиях.

В ставшей уже классической модели электрослабых взаимодействий Вайнберга—Салама—Глэшоу обычно подразумевается пара частиц первого поколения: электрон (e) и электронное нейтрино (ν_e). Лагранжиан их взаимодействия с полями промежуточных векторных бозонов находится по ранее сформулированному правилу: в плотности лагранжиана для свободных частиц (4.4.5) следует заменить частные производные на удлиненные, однако теперь таковыми являются (3.6.2). В них входят значения гиперзаряда Y и изотопический спин частиц $T(s)$, через которые определяются электрический заряд частиц Q (в единицах e) и заряд взаимодействия с нейтральным Z-бозоном g_z:

$$Q = \frac{1}{2}Y + T_3; \quad g_z = T_3 - Q\sin^2\theta_W. \tag{4.8.1}$$

Если обозначить волновую функцию электрона символом $\psi_e \equiv e$, а для нейтрино $\psi_\nu \equiv \nu$, то, очевидно, что, согласно (4.5.13),

$$e = e_L + e_R; \quad \nu = \nu_L + \nu_R. \tag{4.8.2}$$

Левые и правые компоненты частиц по-разному взаимодействуют с промежуточными векторными полями, что отражается их различными значениями гиперзаряда и проекции изотопического спина. Левые компоненты электрона (e_L) и нейтрино (ν_L) объявляются двумя проекциями одного и того же спинора в изотопическом пространстве, т. е. для них соответственно имеем $T_3 = -1/2$ и $T_3 = +1/2$. В модели Вайнберга—Салама—Глэшоу эти две левые компоненты описываются в виде двухкомпонентного столбца. Правые же компоненты считаются изоскалярами, т. е. для них $T_3 = 0$, и они описываются однокомпонентными величинами. Указанное различие соответствует известному свойству слабых взаимодействий — нарушению зеркальной симметрии, т. е. неэквивалентности лево- и право-поляризованных частиц.

Проекции изотопического спина T_3, характеризующего взаимодействия с триплетом векторных полей $A(s)_\mu$, и значения гиперзаряда Y, характеризующего взаимодействия частиц с промежуточным вектор-

ным полем B_μ, для всех компонент частиц выписаны в таблице (4.8.3). Там же указаны электрический Q и g_z-заряды частиц.

Таблица 4.8.3.

Квантовое число	ν_{eL}	e_L	ν_{eR}	e_R
Y	-1	-1	0	-2
T_3	$1/2$	$-1/2$	0	0
$Q=(1/2)Y+T_3$	0	-1	0	-1
$g_z=T_3-Q\sin^2\theta_W$	$1/2$	$-1/2+\sin^2\theta_W$	0	$\sin^2\theta_W$

В таблице формально выписаны заряды и для правых компонент нейтрино. Поскольку все его заряды равны нулю, то он не участвует во взаимодействиях. По этой и некоторым другим причинам принято считать, что существуют лишь левые компоненты нейтрино.

Предполагая естественные вопросы о причинах подобного выбора зарядов и введения левых и правых компонент и т. п., в рамках триалистического или физического миропонимания пока можно лишь сказать, что эти значения имеют феноменологический характер, т. е. следуют из совокупности экспериментальных данных. В других двух частях книги этот материал будет проанализирован под иными углами зрения.

Согласно экспериментальным данным, в электрослабых взаимодействиях проявляются шесть видов лептонов (т. е. имеются лептоны шести *ароматов*), образующих *три поколения* — по две частицы в каждом:

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e^- \end{pmatrix}; \quad \begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu^- \end{pmatrix}; \quad \begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau^- \end{pmatrix}.$$

Все лептоны обладают спином $1/2$. Верхние лептоны электрически нейтральны и безмассовы, а нижние лептоны обладают единичным отрицательным электрическим зарядом и существенно различаются массами покоя. Как уже отмечалось, в настоящее время в рамках первой парадигмы нет общепризнанного теоретического обоснования существования именно трех поколений. Обычно отмечается неясность ролей этих поколений в общей структуре мира.

Взаимодействие лептонов разных поколений с промежуточным *нейтральным векторным Z-бозоном* осуществляется через нейтральные токи. Согласно современным данным, имеется 6 лептонных нейтральных токов, образованных одинаковыми входящими и выходящими частицами (типа $(\overline{\nu}_e\gamma_\alpha\nu_e)$, $(\overline{e}\gamma_\alpha e$ и т. д.). Характерно, что в теории не должны

возникать нейтральные токи, в которых перемешиваются частицы из разных поколений (т. е. типа $\overline{e}\gamma_\alpha\mu$, $\overline{\nu}_e\gamma_\alpha\nu_\mu$ и т. д.). Этот факт следует называть правилом запрета для нейтральных токов.

Заряды g_L и g_R, характеризующие взаимодействия лептонов второго и третьего поколений с Z-бозонами, имеют те же самые значения, что и указанные в таблице (4.8.3) заряды соответствующих лептонов первого поколения.

Взаимодействие лептонов разных поколений с промежуточными *заряженными векторными W-бозонами* описывается через заряженные токи, причем заряженные токи образуются только левыми компонентами частиц. Согласно экспериментальным данным, для лептонов имеется лишь три заряженных тока, в которые входят компоненты пар лептонов только из одного поколения. Отсутствие токов, содержащих компоненты частиц из разных поколений, означает правило запрета для заряженных лептонных токов.

4.9. Электрослабые взаимодействия кварков

Электрослабые взаимодействия кварков описываются теми же формулами, что и лептоны. Отличия состоят в значениях Y и результирующих зарядов кварков. Вместо нейтрино и электрона теперь выступают *верхний и нижний* кварки, которые для первого поколения именуются соответственно u-кварком и d-кварком.

Значения Y, T_3 и зарядов кварков первого поколения во внутреннем пространстве выписаны в таблице (4.9.1):

Таблица 4.9.1.

Квантовое число	u_L	d_L	u_R	d_R
Y	$1/3$	$1/3$	$4/3$	$-2/3$
T_3	$1/2$	$-1/2$	0	0
Q	$+2/3$	$-1/3$	$+2/3$	$-1/3$
g_z	$+1/2-(2/3)\sin^2\theta_W$	$-1/2+(1/3)\sin^2\theta_W$	$-(2/3)\sin^2\theta_W$	$+(1/3)\sin^2\theta_W$

Обратим внимание на то, что верхний кварк обладает дробным электрическим зарядом $Q = +2/3$, а нижний — также дробным электрическим зарядом $Q = -1/3$. Легко видеть, что заряды верхних и нижних кварков отличаются друг от друга на единицу, что характерно также и для лептонов.

Аналогично лептонам в электрослабых взаимодействиях следует говорить о кварках шести ароматов, которые также составляют *три поколения*:

$$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}; \quad \begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix}; \quad \begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}.$$

Все кварки обладают спином $1/2$ в пространстве-времени Минковского и одинаковыми во всех поколениях комплектами квантовых чисел (зарядов) во внутреннем пространстве.

Взаимодействие кварков разных поколений с промежуточным *нейтральным векторным Z-бозоном* осуществляется через нейтральные токи. Согласно современным данным, имеется 6 кварковых нейтральных токов (типа $\overline{u}\gamma_\alpha u$, $\overline{d}\gamma_\alpha d$, $\cdots$). Как и в случае лептонов, в теории не должны возникать нейтральные токи, в которых перемешиваются кварки из разных поколений (т. е. типа $\overline{u}\gamma_\alpha c$ и т. д.). Этот факт следует назвать правилом запрета для нейтральных токов.

В отличие от лептонов, для кварков имеется 9 заряженных токов, так что каждый кварк может образовывать заряженный ток с партнером как из своего, так и из других поколений. Имеет место перемешивание кварков в заряженных токах, которое описывается с помощью трех углов Эйлера θ_1, θ_2, θ_3 и фазового множителя $e^{i\delta}$. Из экспериментальных данных известно, что все углы θ_i малы. Наиболее существенный угол θ_1, называемый *углом Каббибо*, описывает перемешивание кварков из первого и второго поколений.

Множество различных видов адронов — протон, нейтрон, гипероны, мезоны — имеет смысл именно при электрослабых взаимодействиях. Согласно современным воззрениям, барионы состоят из троек кварков и различаются образующими их кварками. Так, протон (p) состоит из двух u-кварков и одного d-кварка ($p = uud$), нейтрон (n) — из двух d-кварков и одного u-кварка ($n = ddu$), т. е. в состав обеих частиц, образующих ядра наблюдаемой материи, входят кварки лишь первого поколения. Легко убедиться, что электрические заряды протона и нейтрона находятся из прямой суммы образующих их кварков.

Ряд нестабильных гиперонов возникает по тому же принципу, однако с участием кварков второго и третьего поколений. Так, триплет Σ-гиперонов строится из комбинаций: $\Sigma^- = dds$, $\Sigma^+ = uus$, $\Sigma^0 = \{ud\}s$. Здесь в последнем выражении фигурные скобки означают симметричную комбинацию двух кварков первого поколения. Дублет Ξ-гиперонов строится с участием двух кварков второго поколения: $\Xi^- = ssd$, $\Xi^0 = ssu$. Аналогичным образом можно определить другие гипероны и так

называемые резонансы. Для различения кварков разных поколений введено новое квантовое число *странность*. Предполагают, что названные барионы содержат странные кварки. (Эти и другие вопросы физики элементарных частиц более подробно изложены в [86, 87, 135].)

Упомянем, что к адронам, кроме барионов, состоящих из трех кварков, относятся и мезоны, также строящиеся по правилам детского конструктора из кварка и антикварка различных поколений.

Подчеркнем, что изложенная информация об электрослабых взаимодействиях кварков и лептонов имеет феноменологический характер и вызывает множество вопросов. Так, в частности, в книге К.Готтфрида и В.Вайскопфа выделены следующие вопросы:

«Кварки и лептоны — бесструктурные частицы со спином $1/2$, имеющие одинаковое электрослабое взаимодействие и одинаковым образом появляющиеся во всех поколениях. Можно ли считать, что лептоны и кварки как-то связаны друг с другом? (...)

Почему фермионы возникают в различных поколениях, которые, повидимому, являются тождественными копиями друг друга?» [35, с. 205].

Решение этих проблем следует ожидать на основе суммарной информации, полученной в рамках всех трех миропониманий.

4.10. Сильные взаимодействия кварков.

Представителями адронов в сильных взаимодействиях являются кварки. Для них лагранжиан (хромодинамики) в каноническом виде записывается таким же образом, что и для электромагнитных и электрослабых взаимодействий [см. (4.5.2)]:

$$\mathcal{L}_F = i\hbar c\overline{q}\gamma^\mu \partial^\star_\mu q + (\text{эрмитово сопряженное выражение}) \qquad (4.10.1)$$

с той разницей, что в нем присутствуют другие поля и иной вид удлиненной производной (3.8.2).

Следует обратить внимание на тот факт, что в (4.10.1) величина q представляет собой столбец из 3×4 компонент, где 3 определяется числом цветовых зарядов в хромодинамике, а 4 — количеством компонент биспинора во внешнем пространстве-времени Минковского. Тройка цветовых зарядов обусловливает матричный 3×3 вид удлиненной производной хромодинамики (3.7.2), где присутствует единичная 3×3-матрица I_3, а выражения λ_a — 3×3-матрицы Гелл-Манна, заменяющие в хромодинамике ранее записанные матрицы Паули.

В наиболее часто используемом представлении матрицы Гелл-Манна имеют вид

$$\lambda_1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}; \qquad \lambda_2 = \begin{pmatrix} 0 & -i & 0 \\ i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix};$$

$$\lambda_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}; \qquad \lambda_4 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}; \tag{4.10.2}$$

$$\lambda_5 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -i \\ 0 & 0 & 0 \\ i & 0 & 0 \end{pmatrix}; \qquad \lambda_6 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix};$$

$$\lambda_7 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -i \\ 0 & i & 0 \end{pmatrix}; \quad \lambda_8 = \tfrac{1}{\sqrt{3}} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -2 \end{pmatrix}.$$

Эти матрицы играют ключевую роль в хромодинамике, фактически определяя математику троичности.

С матрицами λ_3 и λ_8 диагонального вида сопоставляется два специальных цветовых заряда кварков: Q_b — гиперцветовой заряд и Q_a — цветовой изотопический заряд, соответствующие гиперзаряду Y и проекции изотопического T_3 в модели электрослабых взаимодействий Вайнберга-Салама-Глэшоу. Значения специальных зарядов (в единицах g_o) для трех цветов кварков приведены в таблице (4.10.3):

Таблица 4.10.3.

Квантовое число	$q_{(1)} \equiv q_R$	$q_{(2)} \equiv q_Y$	$q_{(3)} \equiv q_G$
Q_b	$1/(2\sqrt{3})$	$1/(2\sqrt{3})$	$-1/\sqrt{3}$
Q_a	$1/2$	$-1/2$	0

Поскольку в калибровочной модели сильных взаимодействий кварки описываются 3-компонентными столбцами во внутреннем цветовом (хроматическом) пространстве аналогично 2-компонентным столбцам (спинорам) в модели электрослабых взаимодействий, в работах ряда физиков 3-компонентные величины были названы *3-компонентными спинорами* — необычным термином, если иметь в виду алгебры Клиффорда над полем вещественных чисел.

В связи с этим отметим, что имеется другой канал обобщения теории 2-компонентных спиноров, в котором возможны спиноры с произвольным числом компонент. В наших работах эти спиноры были названы финслеровыми. Этот вопрос более подробно затронут в третьей части книги при изложении бинарной геометрофизики.

Одним из ключевых вопросов физики элементарных частиц является вопрос о связи теорий сильных и электрослабых взаимодействий. Имеется множество факторов, свидетельствующих в пользу того, что электрослабые и сильные взаимодействия являются проявлениями некой одной системы фундаментальных закономерностей.

Решение проблемы объединения физических взаимодействий ожидается на пути обобщения используемых групп симметрий, включающих в себя названные $SU(2)$ и $SU(3)$. Эти исследования вызвали у В. Гейзенберга аналогии с учениями античных мыслителей: «Сходство воззрений современной физики с воззрениями Платона и пифагорейцев простирается еще дальше. Элементарные частицы, о которых говорится в диалоге Платона «Тимей», ведь это в конце концов не материя, а математические формы. «Все вещи суть числа» — положение, приписываемое Пифагору. Единственными математическими формами, известными в то время, являлись геометрические и стереометрические формы, подобные правильным телам и треугольникам, из которых образована их поверхность. В современной квантовой теории едва ли можно сомневаться в том, что элементарные частицы в конечном счете суть математические формы, только гораздо более сложной и абстрактной природы» [33, с. 36]. Как уже отмечалось в конце предыдущей главы, нам представляется, что правильнее было бы полагать, что единая сущность монистической парадигмы должна описываться простыми математическими формами.

Глава 5

Квантовая теория и физическое видение первоосновы мира

Квантовая теория и ее интерпретация теснейшим образом связаны с метафизикой. С одной стороны, создание квантовой теории сыграло важную роль в развитии метафизики (физики), выявив недостаточность триалистической парадигмы и способствуя переходу к дуалистической парадигме физического миропонимания. С другой стороны, интерпретация самой квантовой теории неразрывно связана с выбором одной из метафизических парадигм. Так, копенгагенская интерпретация соответствует дуалистической парадигме физического миропонимания. Однако на суть квантовой теории можно взглянуть с позиций других парадигм, где особый интерес представляет монистическая парадигма, точнее, выход на нее со стороны физического миропонимания.

В этой главе рассмотрены концептуальные вопросы интерпретаций квантовой теории в дуалистической и монистической парадигмах и предложено взглянуть на общепринятую копенгагенскую интерпретацию как на промежуточную на пути от триалистической к монистической парадигме. Обсуждены проявляющиеся в рамках существующей квантовой теории черты новой интерпретации, имеющей абстрактный (метафизический) характер и еще более удаляющейся от представлений обыденного мира (в триалистической парадигме).

Любопытно отметить, что на этом пути встает ряд метафизических вопросов, которые обсуждались еще в философии античности. Единое неразрывное первоначало не должно быть аморфным и безликим, — из него невозможно было бы развернуть все разнообразие наблюдаемого мира, — а должно иметь несколько сторон (ликов). В квантовой механике, интерпретируемой в рамках монистической парадигмы, проявляются три стороны в виде двух возможных состояний квантовых систем и амплитуды вероятности, их связывающей.

При разработке интерпретации квантовой теории в монистической парадигме центральными являются следующие вопросы:

1) Выявление из существующей квантовой теории поля самостоятельной системы понятий и закономерностей, лежащих в основе теории монистической парадигмы.
2) Обсуждение соотношения принципов квантовой теории в новой интерпретации с представлениями классического пространства-времени.
3) Анализ описания взаимодействий в рамках монистической парадигмы.

Напомним, что в данной книге обсуждаются метафизические вопросы перехода к монистической парадигме с трех сторон (с трех миропониманий), раскрывающих разные черты реальности. Достаточно полная картина мира возникает из соединения и осмысления увиденного со всех сторон. Не случайно рассмотрение начато с физического миропонимания, составлявшего магистральное направление в развитии физики XX века.

5.1. Становление квантовой механики

1. В физике конца XIX века оставался ряд нерешенных проблем, связанных с объяснением спектрального распределения теплового излучения черного тела, удельной теплоемкости твердых веществ при низкой температуре и некоторых других. Казалось, для их решения достаточно небольших усилий и почти завершенное здание классической физики будет построено. Эта иллюзия рассеялась в 1900 году, когда М. Планк объяснил спектр излучения черного тела на основе постулата о дискретностном характере (о квантах) испускания и поглощения электромагнитного излучения. Энергия квантов была записана через частоту $\nu = \omega/2\pi$ в виде

$$E = h\nu = \hbar\omega, \tag{5.1.1}$$

где $\hbar = h/2\pi = 1,05459 \cdot 10^{-27}$ эрг$\cdot$сек — постоянная Планка, размерности классического действия — той самой величины, которой характеризуются взаимодействующие системы (см. разд. 3.1).

2. Следующий шаг по расшатыванию здания классической физики был сделан А. Эйнштейном в 1905 году. На основе квантовых представлений он объяснил явление фотоэффекта — выбивания электронов из

вещества под действием света. Было показано, что энергия E_e фотоэлектронов определяется формулой

$$E_e = \hbar\omega - W, \tag{5.1.2}$$

где W — работа по преодолению сил, удерживающих электрон в веществе. Именно за эту работу (а не за теорию относительности) А. Эйнштейну была присуждена Нобелевская премия.

3. Затем следует назвать работу А. Эйнштейна 1907 года по объяснению удельной теплоемкости. Как пишет Планк: «Первый шаг в этой области был сделан А. Эйнштейном, который, с одной стороны, указал на то, что для ряда замечательных наблюдений над действиями света, такими как явление Стокса, испускание электронов, ионизация газов, по-видимому, можно получить простое объяснение, если ввести обуславливаемые квантом действия кванты энергии. С другой стороны, отождествляя выражения энергии системы резонаторов с энергией твердого тела, он получил формулу для теплоемкости твердого тела, дающую в общем правильное представление об изменениях теплоемкости, особенно об ее уменьшении при падении температуры» [93, с. 146].

4. Далее нужно назвать эксперименты 1911 года Резерфорда, позволившие создать модель атома в виде ядра, окруженного электронной оболочкой, и последовавшие за этим работы Н. Бора 1913 года, применившего к модели Резерфорда идею Планка о квантовании. Всем известны квантовые постулаты Бора. Согласно первому постулату, атомная система находится в особых стационарных состояниях, характеризуемых дискретными значениями энергии. Согласно второму постулату, атом при переходе из одного состояния в другое излучает или поглощает квант энергии, равный разности энергий соответствующих состояний E_s:

$$\hbar\omega = E_1 - E_2. \tag{5.1.3}$$

Н. Бор предложил простое правило для определения круговых орбит электронов, соответствующих стационарным состояниям атома. Согласно этому правилу, момент импульса электронов должен равняться целому числу, умноженному на $\hbar$. Затем были работы А. Зоммерфельда, обобщившие правила квантования Бора для круговых орбит на случай эллиптических орбит. Все это позволило объяснить найденные спектры излучения атомов экспериментально.

Обратим внимание на то, что в постулатах Бора говорится о парах состояний атомов — до и после излучения (поглощения), — но ничего не сказано о самом процессе перехода между состояниями. Этот факт до-

ставлял значительные затруднения в восприятии постулатов, однако в нем воплотилось важное свойство квантовой механики, отказавшейся от рассмотрения подобных классических понятий.

5. Теория квантов получила подкрепление в эффекте рассеяния фотона на электроне, обнаруженном А. Х. Комптоном в 1923 году. Было показано, что при рассеянии света достаточно малой длины волны, т. е. сравнимой (или меньшей) с так называемой комптоновской длиной волны электрона

$$\lambda_e = \frac{\hbar}{mc} = 3,9 \cdot 10^{-11}\text{см}, \tag{5.1.4}$$

свет и электрон ведут себя как в акте соударения двух шариков в классической механике, когда выполняются известные законы сохранения энергии и импульса.

6. На основе накопленного экспериментального материала в 1923 году Луи де Бройль выдвинул идею о двойственной природе частиц (всей материи), согласно которой любая частица с импульсом p обладает длиной волны λ, определяемой соотношением

$$\lambda = \frac{h}{p}. \tag{5.1.5}$$

Вскоре после этого, в 1927 году, К. Д. Дэвиссон и Л. Х. Джермер и независимо от них, но на год позже Д. П. Томсон наблюдали дифракцию электронов на кристаллах.

7. Можно сказать, что в 1925–1926 годах была в основных чертах создана квантовая механика и практически одновременно были предложены две ее формулировки: одна — Э. Шредингером в виде дифференциального волнового уравнения, а другая — В. Гейзенбергом в матричном виде.

Конец 20-х годов XX века называют «героическим временем» квантовой механики. Это был период бурного ее развития как в математическом плане, так и в разработке ее интерпретации.

8. Отдельно следует выделить открытие релятивистского волнового уравнения, сделанное в 1926 году независимо друг от друга О. Клейном, В. А. Фоком и В. Гордоном. Это открытие, часто называемое уравнением Клейна—Гордона, было сделано довольно необычным образом: на основе 5-мерного обобщения классического пространства-времени.

9. Наконец, отметим, что в работе 1928 года П. Дирак опубликовал свое знаменитое уравнение, которое описывает реальные частицы, обладающие полуцелым спином.

В специальных исследованиях описывается история и других важных открытий в области квантовой механики: спина элементарных частиц, статистики Ферми и многих других.

10. Обобщая изложенные выше результаты, можно утверждать, что для создания квантовой механики потребовалось три фундаментальные идеи:

1) Идея М. Планка о квантованности физических величин, точнее о том, что элементарные физические процессы (излучения и поглощения) характеризуются дискретными значениями действия, кратными планковской постоянной $\hbar$.
2) Идея Л. де Бройля о двойственной природе частиц — волновой и корпускулярной, — аналогичной двойственной природе полей переносчиков взаимодействий. Это обусловило вероятностный характер квантовой механики.
3) Третья идея состояла в своеобразном «извлечении квадратного корня» из ряда классических величин. В *нерелятивистской квантовой механике* достаточно говорить об «извлечении квадратного корня» из классической плотности вероятности (4.3.6) и введении амплитуды вероятности пребывания частиц в соответствующих точках классического пространства-времени (в координатном представлении).

5.2. Интерпретации квантовой механики

Чрезвычайно трудным оказался процесс осмысления того, как полевое описание частиц (амплитуды вероятности) сочетается с классическими пространственно-временными представлениями. По этому вопросу, обычно относимому к проблеме интерпретации квантовой механики, в XX веке состоялось множество дискуссий. Фактически речь шла о преодолении наследия классической (ньютоновой) физики, описывающей детерминированные макропроцессы. Как в первой главе говорилось о периоде преодоления в естествознании (в трудах Н. Кузанского, Н. Коперника, Г. Галилея и др.) предрассудков античных представлений, так следует говорить о XX веке как о времени преодоления предрассудков классической физики. Этот процесс происходил (и происходит) чрезвычайно трудно. Сам Эйнштейн говорил, что он «не может представить себе Бога, играющего в кости».

До сих пор многие считают, что в квантовой механике (теории) содержится нечто таинственное, до сих пор неразгаданное, причем так думают не только дилетанты, но так считали и классики теоретической

физики, внесшие значительный вклад в становление квантовой физики. Приведем ряд высказываний по этому вопросу.

Луи де Бройль: «Что касается меня, то я начал заниматься квантами, когда мне было около двадцати лет, и продолжал изучать их в течение четверти века. И все же я должен честно признаться, что если за все это время я и добился несколько более глубокого понимания некоторых сторон этого вопроса, то я не могу еще с полной уверенностью сказать, что таится под маской, скрывающей подлинное лицо квантов» [12, с. 7].

М. Лауэ: «Квантовая механика математически применяется с большим мастерством, но ее физическое содержание, по моему мнению, до сих пор не вполне ясно. (...) Дальнейшее развитие квантовой теории, например, вопрос о совместимости волнового и корпускулярного представлений, в настоящее время не является еще исторически зрелым» [70, с. 162].

М. Планк о М. Лауэ: «Он не мог не занять определенной точки зрения и в отношении важнейшего вопроса о причинности. В настоящее время этот вопрос, по-видимому, разделяет физиков на два противоположных лагеря в зависимости от того, как они рассматривают дуализм корпускулярно-волновой механики в его современной формулировке, отвергающей причинное объяснение отдельных явлений в атомных процессах. Некоторые физики рассматривают эту формулировку как окончательный неизменный принцип, другие — *как временное положение в теории, нуждающееся в дальнейшем объяснении.* У Лауэ никогда не было сомнений в том, что он принадлежит ко второй группе физиков. Но он постоянно подчеркивает, что он *не является противником исследования статистических закономерностей*, которые становятся понятными только благодаря современным методам и во многих случаях интересны для экспериментатора. Но все же, по мнению Лауэ, не следует бросать на произвол судьбы познавательно-теоретический постулат причинности, которому в конце концов будет принадлежать последнее слово в квантовой теории» [93, с. 205].

А. Эйнштейн: «Нет сомнения, что в квантовой механике имеется значительный элемент истины и что она станет пробным камнем для любой будущей теоретической основы, из которой она должна будет быть выведена как частный случай, подобно тому, как электростатика выводится из уравнений Максвелла для электромагнитного поля или термодинамика из классической механики. Однако я не думаю, что квантовая механика является *исходной точкой* поисков такой основы. . . » [147, с. 56].

Р. Фейнман: «Но, мне кажется, я смело могу сказать, что квантовой механики никто не понимает» [119, с. 139]. В своей Нобелевской лекции

он также заметил: «Я хочу сказать, что, по-моему, сейчас у нас нет удовлетворительной квантовой электродинамики, хотя я и не уверен в этом до самого конца» [119, с. 227].

А один из физиков даже заявил: «Основания квантовой механики — это то, на чем будет вечно покоиться ее прах».

В настоящее время в литературе обсуждается около десятка интерпретаций квантовой механики: копенгагенская, неоклассические, статистическая, многомировая, геометрическая в рамках 5-оптики, фейнмановская и другие. Последние две будут рассмотрены в следующих частях, посвященных геометрическому и реляционному видениям мира. В третьей части книги развивается еще одна интерпретация — в рамках бинарной геометрофизики. Здесь же кратко остановимся на первых, разрабатываемых в рамках триалистической парадигмы или парадигм физического видения мира.

1. **Копенгагенская интерпретация** является наиболее общепринятой (можно сказать, ортодоксальной). Она была предложена в работах Н. Бора, М. Борна и некоторых других авторов. О сути этой интерпретации Макс Борн писал: «Со времен открытия Эйнштейном уравнения для флуктуаций становится все более и более очевидным, что природа не может быть описана с помощью частиц или волн в отдельности, а только с помощью более сложной математической теории. Этой теорией является квантовая механика, которая замещает собой обе эти модели и только с определенными ограничениями представляет ту или другую из них» [11, с. 195].

В научно-популярном фильме[1] «Кванты против Ньютона» была сделана попытка наглядно пояснить в духе философии Платона, что такое частица в копенгагенской интерпретации квантовой механики. Зрителю предлагалось изображение растущего на берегу озера дерева, которое отражается в воде и от которого в солнечный день на прибрежный песок падает тень. Естественно, в ветреннюю погоду отражение на поверхности воды искажается рябью. Ни у кого не возникает сомнения, что ни тень, ни отражение нельзя отождествлять с деревом. Дикторский текст пояснял, что то же происходит и в квантовой механике: частица не является ни корпускулой, ни волной, а есть нечто третье, для чего у нас нет наглядного образа.

В копенгагенской интерпретации квантовой механики обращается внимание на принципиальную ограниченность классических представле-

[1] Центрнаучфильм, 1969 г. Режиссер В. В. Миллиоти. Научный консультант Ю. С. Владимиров.

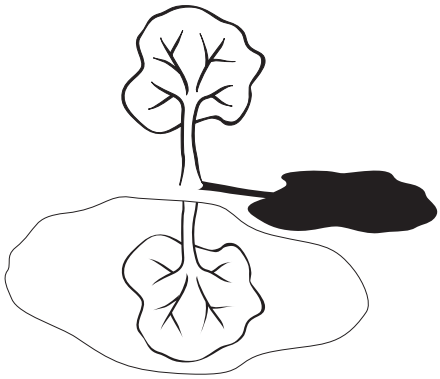

Рис. 5.1. Наглядная иллюстрация корпускулярно-волнового дуализма

ний и предлагается математический аппарат, позволяющий преодолеть корпускулярно-волновой дуализм и описать вскрытые закономерности на фоне априорно заданного классического пространства-времени. Подавляющее большинство физиков согласилось с вероятностным характером квантовой механики и приняло как ее математический аппарат, так и копенгагенскую интерпретацию.

2. Копенгагенской интерпретации противостоит так называемая **неоклассическая интерпретация квантовой механики**, согласно которой микрочастицы строго подчиняются классическим пространственно-временным закономерностям, а вероятностный характер их поведения пытаются объяснить неизвестными пока воздействиями на микрочастицы — некими скрытыми параметрами, — приводящими к статистическому (приближенному) описанию поведения, но это предлагается считать временным состоянием теории. Фактически в этом подходе предлагается вернуться назад к классической физике, к строгому детерминизму.

Данная интерпретация разрабатывалась в работах Д. Бома, М. Джаммера, Ф. Белинфанте, их учеников и ряда других авторов.

Достаточно вескую критику попыток вернуться назад дал В. Паули: «Если же несмотря на логическую замкнутость и математическое изящество квантовой механики, некоторые физики все еще питают надежду, что описанная выше теоретико-познавательная ситуация может оказаться неокончательной, то это, по-моему, обусловлено силой привычки и традиционными формами мышления, которые известны под названием «онтологии» или «реализма». Но физики, не причисляющие себя односторонне к «сенсуалистам», или «эмпирикам», должны поставить вопрос, возможный вследствие того, что эти традиционные фор-

мы мышления носят характер постулата, и неизбежный вследствие существования квантовой механики, являются ли эти формы мышления необходимыми условиями для самой возможности физики вообще или же им можно противопоставить другие, более общие формы мышления. Анализ теоретических основ волновой, или квантовой, механики показал, что правильна вторая альтернатива» [88, с. 49]. В этом же ключе высказывались П. Дирак, В. А. Фок и многие другие классики квантовой теории.

3. В **статистической интерпретации** квантовой механики целиком принимается уже сложившийся математический аппарат и следствия из него, однако ставится вопрос о *неклассических истоках* статистического характера квантовой механики. Один из сторонников этого направления Д. И. Блохинцев писал: «Объектом применения квантовой механики является квантовый ансамбль. Подобно ансамблю Гиббса, квантовый ансамбль образован неограниченным повторением ситуаций, состоящих из определенной макроскопической обстановки M и погруженной в эту обстановку микроскопической системы μ. (...) Оказывается, что существует целая симфония новых статистических закономерностей, управляющих движением микрочастиц и в том случае, когда макроскопические тела, диктующие условия движения микрочастицам, находятся при температуре абсолютного нуля. Эта симфония и есть квантовая механика» [5, с. 28].

Близкие взгляды можно усмотреть в ряде высказываний А. Эйнштейна: «Функция (φ) ни в коем случае не описывает состояние, свойственное одной единственной системе; она относится скорее к нескольким системам, т. е. к «ансамблю систем», в смысле статистической механики. Если, исключая некоторые особые случаи, функция дает только статистические данные об измеримых величинах, то причина состоит не только в том, что *операция измерения* вносит неизвестные элементы, которые можно уловить лишь статистически, а в самом факте, что функция φ ни в коем смысле не описывает состояния *одной* отдельной системы. (...) Тот факт, что квантовая механика позволяет столь просто получить выводы, касающиеся прерывных переходов (кажущихся) из одного общего состояния в другое, не давая фактически представления об отдельных процессах, связан с другим фактом, а именно, что теория в действительности оперирует не с отдельной системой, а с ансамблем систем» [147, с. 55].

На наш взгляд, в этом подходе обращается внимание на чрезвычайно важное для понимания квантовой механики обстоятельство — на квантовый ансамбль, обусловленный макроприбором.

4. **Многомировая интерпретация** квантовой механики, предложенная в 1957 году Г. Эвереттом и поддержаная Б. ДеВиттом и рядом других исследователей, основана на трактовке волновой функции частиц как совершенно реального физического объекта, эволюционирующего во времени, согласно уравнению Шредингера. При этом неизбежно встает проблема редукции (схлопывания в точку) волнового пакета в акте обнаружения этой частицы в каком-то месте. В данном подходе предлагается заменить проблему редукции на явление ветвления (расщепления) мира в точках-процессах. Полагается, что в мире реализуются все возможные процессы (возникает множество копий мира), но наблюдатель видит лишь одну из возможностей[1].

По сути дела, в многомировой интерпретации квантовой механики применяется прием, давно использующийся в теории пространства и времени. К точкам-событиям, где произошли события, добавляется *континуум лишних точек*, составляющих пространственно-временное многообразие. Точно так же в данной интерпретации к реально осуществившемуся варианту процесса добавляется множество (может быть, континуум) всех других возможных вариантов, но не осуществившихся. Как нам представляется, ряд проблем в современной теории поля связан именно с введением лишних точек пространственно-временного континуума.

В самом конце XX века обсуждались еще так называемая **брюссельская** и ряд других интерпретаций квантовой механики.

5.3. Метафизика квантовой теории

Попробуем взглянуть на трудности интерпретации (осознания) квантовой механики с позиций метафизики. В приведенных выше высказываниях классиков теоретической физики усматриваются попытки ее осмыслить в рамках различных парадигм физического (и не только физического) миропонимания.

1. Так, неоклассическая интерпретация квантовой механики представляет собой попытку ее трактовки с позиций **триалистической парадигмы**. Непонятные в рамках этой парадигмы моменты квантовой теории пытаются объяснить добавлением привычных понятий (полей или воздействий), якобы пока скрытых от явного описания.

[1] Согласно многомировой интерпретации квантовой механики, человек, попавший под автомобиль, но еще сохранивший проблески сознания, не должен этим огорчаться, а сохранять уверенность, что он попал в катастрофу лишь в одной из копий миров, а в других он ее избежал и продолжает жить.

2. Сторонники копенгагенской интерпретации трактуют квантовую механику на основе **дуалистической парадигмы физического миропонимания**. Напомним, что эта парадигма наглядно представляется на рисунке 2.1 как выход на нижнюю грань куба физической реальности, когда две категории — частиц и полей (переносчиков взаимодействий) — объединяются в одну обобщенную категорию поля, а третья физическая категория — классическое пространство-время — остается неизменной, имеющей самостоятельный характер. Уже на примере 4-мерного пространства-времени было продемонстрировано, какие трудности возникают всякий раз, когда осуществляется переход к обобщенной физической парадигме. В данном случае это проявляется в невозможности одновременного измерения координат и импульсов частиц. В копенгагенской интерпретации квантовой механики акцентируется именно этот аспект.

Данная парадигма приводит к радикальному изменению характера прежней категории поля переносчиков взаимодействий. Из субстанции, непрерывным образом распределенной в пространстве (-времени), поле превратилось в амплитуду вероятности нахождения дискретных частиц в том или ином месте пространства-времени. Это немедленно изменило все миропонимание: принцип абсолютного детерминизма, господствовавший в ньютоновской физике, пришлось заменить на принцип случайности в основаниях мироздания.

Напомним, что раньше естествоиспытатели были убеждены, что все в мире уже предопределено и если что-то в будущем туманно, то это лишь потому, что мы недостаточно знаем все факторы, влияющие на процессы. Стоит их познать, и можно будет точно во всех деталях предсказать будущее. Заметим, что такая уверенность у физиков существовала вопреки опыту всей повседневной жизни, вопреки религиозным представлениям, утверждавшим разные возможности в виде проявлений воли Божьей. Но в начале XX века физика доросла до признания вероятностных явлений, причем лежащих в самых основаниях физического мироздания — в виде квантовой механики. Это перевернуло понимание соотношения детерминизма и индетерминизма, необходимости и случайности. Если сторонники неоклассической интерпретации квантовой механики стремятся объяснить вероятностный характер физики в микромире, исходя из принципа абсолютного детерминизма, то в копенгагенской интерпретации квантовой механики встает обратная задача: исходя из первичных вероятностных закономерностей, объяснить, как в классической физике возникает иллюзия всеобщего детерминизма.

В копенгагенской интерпретации квантовой механики пространство-время трактуется в духе «промежуточного редукционизма», т. е. оно имеет самостоятельный, можно сказать, априорный характер. Квантовомеханические закономерности вкладываются в известные классические пространственно-временные представления. Поскольку последние неразрывно связаны с описанием макрообъектов, причем относительно макроприборов, то этот подход приводит к выводу о принципиальной неполноте квантовой механики (теории). Так, Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшиц писали: «Обычно более общая теория может быть сформулирована логически замкнутым образом независимо от менее общей теории, являющейся ее предельным случаем. Так, релятивистская механика может быть построена на основании своих основных принципов без всяких ссылок на ньютоновскую механику. Формулировка же основных положений квантовой механики принципиально невозможна без привлечения механики классической. (...) Для системы из одних только квантовых объектов вообще нельзя было бы построить никакой логически замкнутой механики. Возможность количественного описания движения электрона требует наличия также и физических объектов, которые с достаточной точностью подчиняются классической механике» [69, с. 15].

3. Метафизика подсказывает существование **монистической парадигмы**, в рамках которой возникает принципиально иная интерпретация квантовой механики, основанная на переходе к единой, обобщенной категории, вбирающей в себя как категорию пространства-времени, так и поле амплитуды вероятности. Подчеркнем, что правомерность как самой этой парадигмы, так и соответствующей ей интерпретации квантовой механики не нуждается в специальном обосновании, ибо это входит в суть самой метафизики, вытекает из взгляда на физику сверху, тогда как всякое обоснование подобных утверждений представляет собой восхождение от частных принципов к общему, высшему.

Ряд классиков теоретической физики высказывался в пользу разработки монистической парадигмы, причем некоторые из них говорили не только о возможности построения такой теории, но даже о ее необходимости. Так, *Луи де Бройль* еще в 30-х годах писал: «Понятия пространства и времени взяты из нашего повседневного опыта и справедливы лишь для явлений большого масштаба. Нужно было бы заменить их другими понятиями, играющими фундаментальную роль в микропроцессах, которые бы асимптотически переходили при переходе от элементарных процессов к наблюдаемым явлениям обычного масштаба в привычные понятия пространства и времени. Стоит ли говорить, что это очень трудная задача? Было бы удивительно, если бы оказалось воз-

можным когда-нибудь исключить из физической теории понятия, представляющие самую основу нашей повседневной жизни. Правда, история науки показывает удивительную плодотворность человеческой мысли и не стоит терять надежды. Однако пока мы не добились успеха в распространении наших представлений в указанном направлении, мы должны стараться с большими или меньшими трудностями втиснуть микроскопические явления в рамки понятий пространства и времени, хотя нас все время будет беспокоить чувство, что мы пытаемся втиснуть алмаз в оправу, которая ему не подходит» [12, с. 187]. Иными словами, пока не построена более общая теория (в рамках монистической парадигмы) приходится довольствоваться сложившейся копенгагенской интерпретацией квантовой механики.

В те же 30-е годы аналогичным образом высказывался *А. Эйнштейн*: «Необходимо отметить, конечно, что введение пространственно-временного континуума может считаться противоестественным, если иметь в виду молекулярную структуру всего происходящего в микромире. Утверждают, что успех метода Гейзенберга может быть приведен к чисто алгебраическому методу описания природы, то есть исключению из физики непрерывных функций. Но тогда нужно будет в принципе отказаться от пространственно-временного континуума. Можно думать, что человеческая изобретательность в конце концов найдет методы, которые позволят следовать этому пути. Но в настоящее время такая программа смахивает на попытку дышать в безвоздушном пространстве» [147, с. 56].

Заметим, что монистическая парадигма не означает отказа от классического пространства-времени в буквальном смысле этого слова, а лишь предполагает переход к еще более обобщенной единой и нераздельной физической категории, включающей в себя категорию пространства-времени, подобно тому, как в квантовой теории были объединены волновые и корпускулярные свойства частиц или как в 4-мерном пространстве-времени объединились отдельные понятия пространства и времени.

Приближался к данной парадигме *В. Гейзенберг*, о чем свидетельствует введенный им в квантовую теорию метод S-матрицы. Допускали более общий подход в физике микромира, чем в принятой интерпретации, и другие классики квантовой теории. Так *П. Дирак* писал: «Разумеется, возврата к детерминизму классической физики уже не будет; эволюция не пойдет вспять. Наверняка появятся совершенно необычные представления, о которых мы пока даже не догадываемся. Они уведут

нас еще дальше от классических взглядов и полностью изменят современный вид соотношений неопределенности» [42, с. 24].

В. А. Фок высказывался в аналогичном духе: «Неравенства Гейзенберга (...) указывают пределы применимости классического способа описания. Но они отнюдь не ставят каких-либо границ для более совершенных способов описания физических явлений и для более полного познания свойств физических объектов» [126, с. 10].

Возможно, неудовлетворенность ряда физиков квантовой механикой объясняется отсутствием ее интерпретации, а точнее переформулировки, в рамках монистической парадигмы.

Начнем рассуждать в рамках монистической парадигмы, то есть исходить из существования некоего единого и нераздельного первоначала. Это заставляет обратиться к метафизическим идеям далекого прошлого. Еще в древности было осознано, что из безликого и аморфного первоначала невозможно вывести все многообразие наблюдаемого мира. **Первоначало должно проявляться в виде нескольких сторон (ликов)**. Платон пытался опереться на две стороны (на двуединство первоначала) и не смог описать движение тел и эволюцию мира. Аристотель показал, что двоичности Платона мало и необходимо постулировать три лика первоначала — опираться на триединство. Он ввел понятия возможности и действительности. Два противоположные начала имеются лишь в возможности, тогда как действительность, связывающая их, едина. Согласно Аристотелю, движение определяется через начало и конец, т. е., как сейчас говорят, через начальное и конечное состояния системы. Их объединяет нечто третье, характеризующее переход между ними.

В квантовой теории поля фактически реализуется аналогичная идея: задаются начальные и конечные состояния системы: двоичность Платона в возможности, а также нечто третье, помогающее перейти к действительности, — амплитуда вероятности перехода между возможными состояниями, соответствующая третьему началу Аристотеля. На эту аналогию обратил внимание уже В. Гейзенберг, писавший, «что понятие возможности, которое играет решающую роль в философии Аристотеля, в современной физике снова заняло центральное положение. Математические законы квантовой теории можно рассматривать просто как количественную формулировку аристотелевских понятий «дюнамис» или «потенция»» [33, с. 393].

В последующих разделах этой главы анализируется существующая квантовая теория (в копенгагенской интерпретации) с целью выявле-

ния в ней информации, необходимой для формирования монистической парадигмы.

5.4. Аксиоматика квантовой механики. Гильбертово пространство

В конце 50-х — начале 70-х годов XX века значительные усилия физиков-теоретиков были нацелены на разработку аксиоматики квантовой теории. Предпринимались попытки на строгой математической основе разобраться в том, какие принципы и понятия заложены в фундамент квантовой теории поля (квантовой механики). На основе этого анализа надеялись понять источник трудностей квантовой теории как концептуального, так и технического характера, в частности, прояснить причины возникновения расходимостей. Примечательно, что за исходные стремились выбрать не те положения, которые непосредственно связаны со свойствами классического пространства-времени, а некоторые абстрактные принципы: суперпозиции, причинности, симметрии, аналитичности и другие.

Следует напомнить, что, во-первых, разработка аксиоматики представляет собой метафизическую задачу. Во-вторых, при построении аксиоматики вольно или невольно закладывается та или иная метафизическая парадигма. В-третьих, всякая аксиоматика лишь уточняет и систематизирует сложившиеся представления, а в данном случае это была квантовая теория в копенгагенской интерпретации, т. е. в ней так или иначе были представлены свойства классического пространства-времени. Тем не менее, анализируя минимальные системы примитивов и аксиом, составляющих фундамент квантовой теории, удается выделить ряд ключевых положений (понятий и закономерностей), общих как для дуалистической, так и монистической парадигмы.

Принято различать квантовую механику и квантовую теорию поля, где используются методы вторичного квантования. Сначала обсудим аксиоматику **квантовой механики**, придерживаясь ее изложения в книге П. А. М. Дирака «Принципы квантовой механики» [41], в которой автор фактически стремился выйти на монистическую парадигму или, по крайней мере, обратиться к макропонятиям как можно позже. В качестве ключевых понятий (примитивов аксиоматики) Дирак выбрал *состояние* системы (из частиц и переносчиков взаимодействий) и *динамических переменных*. Он писал: «Состояния и динамические переменные должны характеризоваться математическими величинами другой

природы, чем те, которые обычно используются в физике. Новая схема станет точной физической теорией, если будут перечислены все аксиомы и правила действия для математических величин и если, кроме того, будут установлены некоторые законы, связывающие физические факты с математическим аппаратом» [41, с. 31].

Аксиоматика квантовой механики Дирака, как и аксиоматика геометрии, состоит из нескольких блоков, которые разобьем на две части. Первую часть составляют блоки аксиом *гильбертова пространства*, которые имеют наиболее фундаментальный характер, подчеркивавшийся многими исследователями. Можно установить соответствие этих блоков аксиом с тремя блоками в аксиоматике геометрии пространства-времени, описанной в разд. 2.7. Прежде чем это сделать, перечислим аксиомы гильбертова пространства.

1. Аксиомы векторного пространства. В качестве исходного момента для развертки аксиоматики выбран *принцип суперпозиции* для состояний квантовомеханических систем, который можно усмотреть уже в волновых уравнениях квантовой механики. Поскольку они линейны, то обладают тем свойством, что сумма двух решений также является решением, а каждое решение трактуется как состояние. Этот принцип не имеет прямого классического аналога. «В классическом смысле слова нельзя представить себе, что система находится частично в одном состоянии, а частично в другом и что это эквивалентно тому, что система целиком находится в некотором третьем состоянии. Здесь вводится совершенно новая идея, к которой нужно привыкнуть и на основе которой следует далее строить точную математическую теорию, не имея при этом детальной физической картины» [41, с. 29].

Математическая реализация этой идеи достигается в рамках понятий *векторов*, точнее, элементов линейного векторного пространства. Как известно из геометрии, сумма двух векторов также является вектором. Отличие от привычных векторов заключается в том, что обычно имеют дело с векторами в пространствах конечного числа измерений, а в данном случае пространства могут быть бесконечномерными. Дирак разработал специфическую систему обозначений, в которой вектор A изображается в обрамлении сориентированной скобки (кет) вида $|A\rangle$. Названное выше свойство суперпозиции означает, что любым двум векторам $|A\rangle$ и $|B\rangle$ из данного линейного векторного пространства однозначно сопоставлен третий элемент этого же векторного пространства, что в обозначениях Дирака записывается следующим образом

$$|A\rangle + |B\rangle = |C\rangle. \tag{5.4.1}$$

Определенная в линейном векторном пространстве операция сложения векторов обладает обычными свойствами:

а) коммутативности $|A\rangle + |B\rangle = |B\rangle + |A\rangle$;
б) ассоциативности $(|A\rangle + |B\rangle) + |C\rangle = |A\rangle + (|B\rangle + |C\rangle)$.

Кроме того, постулируется существование нулевого состояния (нулевого вектора) $|0>$ такого, что $|A\rangle + |0\rangle = |A\rangle$.

Эти свойства означают, что состояния (векторы) образуют *абелеву группу*.

Для элементов линейного векторного пространства также определена операция умножения на комплексные числа, обладающая свойством дистрибутивности. Напомним, это означает, что, если $a, b \in C$, где C — поле комплексных чисел, то имеют место соотношения:

а) $a(|A\rangle + |B\rangle) = a|A\rangle + a|B\rangle$;
б) $(a + b)|A\rangle = a|A\rangle + b|A\rangle$;
в) $0 \cdot |A\rangle = |0\rangle$.

Принцип суперпозиции и связанное с ним линейное векторное пространство составляют устойчивое ядро многих аксиоматик квантовой механики (теории).

Перечисленные свойства в совокупности определяют *линейное векторное пространство*. Легко проверить выполнимость всех этих свойств для решений линейных волновых уравнений, записанных в предыдущих главах. Заметим также, что эти свойства, как правило, нарушаются в случае нелинейных уравнениях. Это послужило одной из основных причин неудач при разработке программ построения единой нелинейной теории поля.

2. Аксиомы скалярного произведения. В линейном векторном пространстве нет понятия длины. Строго говоря, два вектора, отличающиеся комплексным множителем, следует считать за один и тот же вектор, т. е. свойств линейного векторного пространства недостаточно для построения квантовой теории. Для определения амплитуды вероятности процессов необходимо ввести в векторное пространство *операцию скалярного произведения векторов*, означающую, что каждой паре элементов $|A\rangle, |B\rangle$ линейного векторного пространства поставлено в соответствие комплексное число, — своеобразная метрика. Отметим, что понятие метрики составляет собой другой примитив аксиоматики.

Важно отметить, что для определения операции скалярного произведения Дираку и другим потребовалось ввести пространство со-векторов, строящееся из элементов пространства векторов: каждому вектору $|B\rangle$

соответствует со-вектор $\langle B|$, изображаемый в иначе ориентированных обкладках (брэк). Скалярное произведение вектора $|B\rangle$ на $|A\rangle$ изображается в виде символа упорядоченного $\langle B|A\rangle$, где вместо первого вектора берется со-вектор, а вертикальные линии двух составных частей совмещаются друг с другом. Таким образом, в обозначении скалярного произведения два вектора оказываются заключенными в своеобразные скобки. (По-английски bracket (скобка) состоит из двух слогов: brac (брэк) и ket (кет).)

Скалярные произведения обладают следующими свойствами:

а) $\langle B|A\rangle = \overline{\langle A|B\rangle}$, где черта сверху означает комплексное сопряжение, т. е. перестановка местами двух векторов приводит к комплексно сопряженному результату;
б) $\langle aA|B\rangle = a\langle A|B\rangle$ — множитель (C-число) выносится за знак скобки;
в) $(\langle A| + \langle B|)|C\rangle = \langle A|C\rangle + \langle B|C\rangle$;
г) $\langle A|A\rangle > 0$, если $|A\rangle \neq |0\rangle$. В этом выражении введена *длина* (*норма*) *вектора*, которая характеризуется вещественным положительным числом.

Перечисленные два блока свойств определяют так называемое *унитарное* или *предгильбертово* пространство.

Этот блок аксиом квантовой механики имеет глубокое метафизическое содержание, особенно важное для интерпретации квантовой механики в монистической парадигме. Во-первых, определение векторов и со-векторов состояний можно понимать как проявление двух противоположностей платоновской диалектики, — двух сторон единого (двуединого) первоначала. Во-вторых, в данном блоке аксиом определено скалярное произведение векторов, описывающих начальное и конечное состояния системы. Комплексное число, которым характеризуется скалярное произведение, описывает амплитуду вероятности перехода между этими состояниями — третье метафизическое начало квантовой механики, соответствующее аристотелевской сущности. Таким образом, в этом блоке аксиом заложена как двоичность, так и троичность метафизической системы (монистической парадигмы).

3. Гильбертово пространство. В квантовой теории используется векторное пространство с условиями непрерывности (полноты). Не будем выписывать все необходимые для этого понятия и определения, полагаясь на интуицию читателя, знающего хотя бы в общих чертах, как в математике определяется непрерывность. Отметим, что Дирак также уходит от деталей, заявляя: «Пространство векторов и со-векторов, име-

ющих конечную длину и конечное скалярное произведение, называется математиками *пространством Гильберта*» [41, с. 65].

Однако следует заметить, что в квантовой теории фактически используются более общие пространства, чем пространство Гильберта, так как во многих случаях встречаются векторы с бесконечной длиной. Это подсказывает, что в данном блоке аксиом содержатся некоторые избыточные условия на квантовомеханические системы. Впрочем, это характерно и для аксиоматики геометрии пространства-времени, где, кроме точек с реальными частицами, рассматриваются и все промежуточные (пустые) точки.

Установим следующие параллели между примитивами аксиоматики гильбертова пространства, аксиом геометрии и ключевыми физическими категориями:

1) состояние системы — геометрическая точка — категория частиц;
2) скалярное произведение — метрика — категория переносчиков взаимодействий;
3) непрерывные множества — категория пространства-времени.

В этом случае аксиоматика векторных пространств в какой-то мере заменяет аксиомы порядка в геометрии, аксиомы скалярного произведения векторов соответствуют метрическим аксиомам в геометрии, а понятие непрерывности (полноты) в пространстве Гильберта — топологическим аксиомам в геометрии.

Подчеркнем, что здесь речь идет не о полном соответствии, а лишь о параллелях в двух аксиоматиках.

5.5. Представления и динамические переменные

Аксиом гильбертова пространства недостаточно для построения квантовой теории, — необходимо их дополнить рядом других положений. Данную ситуацию следует уподобить положению, в котором в свое время оказался Архимед. Сформулировав философию триединства, он был не в состоянии лишь на ее основе развернуть теорию физического мира, — пришлось вводить множество других категорий и аксиом, которые позволили систему Аристотеля назвать физической теорией. В такой же ситуации оказался Дирак и другие физики-теоретики, разрабатывавшие аксиоматику квантовой теории. В разных аксиоматиках (Лемана, Симанзика, Циммермана и других авторов) вводилась совокупность дополнительных аксиом, среди которых так или иначе были представлены аксиомы (свойства) классического пространства-времени: частичной

упорядоченности (свойства причинности), релятивистской инвариантности и другие.

В аксиоматике квантовой механики Дирака дополнительные положения были представлены следующими двумя блоками аксиом, типичными для дуалистической парадигмы (копенгагенской интерпретации):

1. Представления. В уже упоминавшихся в предыдущей главе положениях квантовой механики (теории) фигурировали волновые функции и уравнения поля, что фактически означало использование так называемого координатного представления (q-представления), когда состояния описывались решениями волновых уравнений — некоторыми числовыми функциями от координат $\psi(x)$. Такое описание векторов состояний можно считать соответствующим философской системе Платона, — числа (или совокупность чисел) связывались с материальным объектом. Однако аксиоматика гильбертова пространства больше соответствует философской системе Аристотеля, т.к. состояния, охарактеризованные системой аксиом векторного пространства, еще не описываются числами. Числовые характеристики появляются лишь после введения другого примитива — скалярного произведения вектора на со-вектор (метрики), т. е. благодаря третьей стороне единой сущности. В обозначениях Дирака это означает

$$\psi(x) \to \langle q|A\rangle, \tag{5.5.1}$$

где скалярное произведение вектора $|A\rangle$ на *особый со-вектор* $\langle q|$ превращает вектор состояния в комплексное число, трактуемое как значение функции (амплитуды вероятности пребывания) в некоторой координате $q = x$.

Координатное представление означает постулирование некоего особого класса со-векторов, который, как будет отмечено ниже, теснейшим образом связан с понятием классического макроприбора.

Однако имеется и другое представление — импульсное (p-представление), также связанное с макроприборами, однако иного устройства. Координатное и импульсное представления (для одной степени свободы) связаны друг с другом через известные преобразования Фурье:

$$\langle p|A\rangle = \frac{1}{\sqrt{h}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-iqp/\hbar} \langle q|A\rangle dq \to \psi(x), \tag{5.5.2}$$

$$\langle q|A\rangle = \frac{1}{\sqrt{h}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-iqp/\hbar} \langle p|A\rangle dp \to \psi(p). \tag{5.5.3}$$

Таким образом, каждый из представителей с точностью до множителя является Фурье-образом другого.

Чрезвычайно важное значение имеет экспоненциальный множитель $\exp(iqp/\hbar)$, который в конце концов ответственен за появление принципа неопределенностей Гейзенберга

$$\Delta q \Delta p \geq h. \tag{5.5.4}$$

Классическая вероятность ρ перехода квантовой системы из одного состояния в другое находится как произведение амплитуды вероятности процесса на комплексно сопряженное выражение. Выше это было названо своеобразным «извлечением квадратного корня» из классической вероятности.

Следует обратить внимание на обратный ход рассуждений в данной аксиоматике по сравнению с наиболее распространенными изложениями квантовой механики. Часто исходят из координатного представления, т. е. из понятий, непосредственно связанных с классическим пространством-временем, и затем на их основе говорят о свойствах суперпозиции, нормы и т. д. В данном изложении напротив — исходными являются принцип суперпозиции и другие аксиомы гильбертова пространства, а все классические понятия проявляются через представления и операторы динамических переменных.

О роли координатного представления в квантовой теории достаточно четко сказано в книге Х. Грина, посвященной матричной (гейзенберговской) формулировке квантовой механики: «В большинстве книг по квантовой механике основной упор делается на ее волновой аспект, возможно, из-за того, что он считается более доступным для тех, кто уже в достаточной мере знаком с дифференциальными уравнениями. Однако до тех пор пока читатель не осознает, что волновая механика есть лишь особый способ квантовомеханического описания (координатное представление), он всегда будет склонен подпасть под влияние тех же идей о важности координатного представления и физической значимости волновой функции, которые ввели в заблуждение некоторых величайших физиков нашего времени. Можно значительно выиграть в понимании физической сущности квантовой механики, знакомясь с ней в том виде, в каком она была впервые изложена Борном и Иорданом» [38, с. 17]. Добавим к этому еще книгу Дирака, использованную при изложении данного материала.

2. Аксиомы линейных операторов. Как уже отмечалось, любая информация о микросистеме может быть получена на языке наблюдателя, оперирующего лишь с классическими понятиями. Это означает, что в теории должен присутствовать некий блок из математических ве-

личин и приемов, позволяющий извлекать из состояний квантовых систем данные, понятные наблюдателю, т. е. необходимо уметь обратно возвращаться от обобщенных категорий к понятиям триалистической парадигмы.

Во всех учебниках по квантовой механике подчеркивается, что для получения классических характеристик микрочастиц необходимы физические объекты, которые сами описываются классическими понятиями, т. е. нужны макрообъекты. Процесс измерения сводится к взаимодействию микрочастицы с макрообъектом, состояние которого изменяется. Это изменение служит количественной характеристикой тех или иных свойств микрочастиц. Математически это выражается с помощью операторов (линейных операторов), действующих на волновую функцию частиц. В квантовой механике операторы соответствуют неким идеализированным макроприборам. Различают макроприборы, которые служат для измерения координат частиц или для измерения их импульсов. Это два предельных случая.

Линейные операторы в самом общем случае представляют собой функции, ставящие в соответствие одному состоянию $|A\rangle$ некоторое другое состояние $|F\rangle$, так что

$$\hat{\alpha}|A\rangle = |F\rangle, \tag{5.5.5}$$

где символом $\hat{\alpha}$ обозначен линейный оператор.

Линейные операторы, которые будем обозначать греческими буквами со шляпкой, обладают рядом привычных свойств, аналогичных свойствам векторов состояний:

а) $\hat{\alpha}(|A\rangle + |B\rangle) = \hat{\alpha}|A\rangle + \hat{\alpha}|B\rangle$;
б) $\hat{\alpha}(c|A\rangle) = c\hat{\alpha}|A\rangle$;
в) $(\hat{\alpha} + \hat{\beta})|A\rangle = \hat{\alpha}|A\rangle + \hat{\beta}|A\rangle$;
г) $(\hat{\alpha}\hat{\beta})|A\rangle = \hat{\alpha}(\hat{\beta}|A\rangle)$. При этом следует особо подчеркнуть, что в общем случае операторы не обладают свойством коммутативности, т. е. результат их действия зависит от их порядка.

Как пишет Дирак, «*линейные операторы соответствуют динамическим переменным в тот же момент времени*. Под динамическими переменными следует понимать такие величины, как координаты, компоненты скорости, импульса или момента количества движения частиц, а также функции от этих величин, т. е. все те переменные величины, которые используются при построении классической механики. Из нового предположения следует, что эти величины должны встречаться также и в квантовой механике, однако, характерной особенностью является

то, что *теперь эти величины подчиняются алгебре, в которой не выполняется коммутативный закон умножения*» [41, с. 45]. Это важное утверждение (вместе со свойствами представлений) связывает аксиомы гильбертова пространства с классическим пространством-временем и всеми сопутствующими ему понятиями, составляя математический аппарат квантовой теории.

Важное место занимают понятия собственных векторов и собственных значений операторов. Напомним, что если для некоторого оператора $\hat{\alpha}$ и некоторого вектора $|A\rangle$ имеет место соотношение

$$\hat{\alpha}|A\rangle = a|A\rangle, \tag{5.5.6}$$

где a — некоторое число, то вектор $|A\rangle$ называется *собственным вектором*, а число a — *собственным значением* данного оператора $\hat{\alpha}$. Особое значение имеют операторы, обладающие вещественными собственными значениями, называемые *эрмитовыми операторами*. Именно через эрмитовы операторы в теорию вводятся наблюдаемые величины.

Так, в координатном представлении операторы импульса и координаты имеют вид:

$$\hat{p}_\mu = i\hbar\frac{\partial}{\partial x^\mu}; \quad \hat{x}^\mu = x^\mu, \tag{5.5.7}$$

а в импульсном представлении

$$\hat{p}_\mu = p_\mu; \quad \hat{x}^\mu = i\hbar\frac{\partial}{\partial p_\mu}. \tag{5.5.8}$$

Операторы импульсов в координатном представлении уже использовались в предыдущих главах при записи волновых уравнений.

В квантовой механике невозможно одновременное измерение положения частицы и ее импульса. Это выражается посредством некоммутативности их операторов и соответствующего им принципа неопределенности.

Еще раз подчеркнем, что этот блок аксиом соответствует именно дуалистической парадигме физического миропонимания.

5.6. Макроприбор и принцип суперпозиции

Относительно изложенной выше конструкции (аксиоматики) квантовой механики был высказан ряд критических замечаний концептуального характера. Среди них особого внимания заслуживают замечания известных авторов об отображении роли *макроприбора* в аксиоматике квантовой теории, причем это касается как аксиом гильбертова пространства, так и дополнительных положений. Так, В. А. Фок, как редактор перевода на русский язык цитированной выше книги П. А. М. Дирака, выразил

несогласие с трактовкой в ней понятия состояния: «Само понятие состояния трактуется по всей книге так, как если бы оно принадлежало атомному объекту самому по себе, в отрыве от средств наблюдения. Такая абсолютизация понятия «квантовое состояние» приводит, как известно, к парадоксам. Эти парадоксы были разъяснены Нильсом Бором на основе представления о том, что необходимым посредником при изучении атомных объектов являются средства наблюдения (приборы), которые должны описываться классически» [41, с. 9].

Эта мысль развивается В. А. Фоком в его книге «Начала квантовой механики»: «Положив в основу нового способа описания результаты взаимодействия микрообъекта с прибором, мы тем самым вводим важное понятие *относительности к средствам наблюдения*, обобщающее давно известное понятие относительности к системе отсчета. Такой способ описания отнюдь не означает, что мы приписываем объекту меньшую степень реальности, чем прибору, или что мы сводим свойства объекта к свойствам прибора. Напротив, описание на основе понятия относительности к средствам наблюдения дает гораздо более глубокую и тонкую объективную характеристику микрообъекта, чем это было возможно на основе идеализаций классической физики. Такая характеристика требует и более развитого математического аппарата — теории линейных операторов, их собственных значений и собственных функций, теории групп и других математических понятий» [125, с. 15].

Другими словами, *в ключевом примитиве квантовой теории — состоянии микрообъектов неявно присутствует понятие макроприбора* (средств наблюдения), недостаточно отраженное в аксиоматике Дирака (и в ряде других аксиоматик квантовой теории).

Особо следует остановиться на аналогии между ролями макроприбора в квантовой механике и системы отсчета в теории относительности. Так В. А. Фок писал: «Понятие относительности к средствам наблюдения (в квантовой механике — Ю. В.) есть в известном смысле обобщение понятия относительности к системе отсчета. Оба понятия играют в соответствующих теориях аналогичную роль. Но в то время как теория относительности, которая опирается на понятие относительности к системе отсчета, учитывает лишь движение средств наблюдения как целого, в квантовой механике необходимо учитывать и более глубокие свойства средств наблюдения» [123, с. 73].

Аналогичные мысли высказывал В. Паули, предлагавший даже называть квантовую теорию «теорией дополнительности» по аналогии с названием «теория относительности»: «Строго определенные, подчас комплементарные условия эксперимента в квантовой механике играют роль

строго определенных состояний движения наблюдателя в эйнштейновской теории относительности. Конечная величина кванта действия, ставящая границу непрерывности явлений на атомном уровне, играет роль предельной скорости распространения сигнала в эйнштейновской специальной теории относительности. Группа унитарных преобразований, охватывающая все возможно допустимые варианты условий эксперимента, в квантовой механике играет роль группы преобразований координат, связывающей в общей теории относительности все возможные состояния движения наблюдателя и соответствующие этим состояниям результаты произведенных им измерений» [88, с. 192].

Интересно сопоставить данные высказывания В. А. Фока и В. Паули с уже упоминавшимися выше соображениями Д. И. Блохинцева о статистической природе квантовой механики. Он пишет: «Будет правильным сказать, что квантовая механика изучает микромир в его отношении к макромиру. Макроскопические (классические) приборы являются теми системами отсчета, по отношению к которым в квантовой теории определяется состояние микросистем» [5, с. 84]. В другом месте у Блохинцева сказано: «Волновая функция не есть величина, определяющая статистику какого-то специального измерения; она является величиной, определяющую статистику квантового ансамбля, т. е. статистику любого измерения, совместимого с природой микросистемы μ и той макроскопической обстановки М, которая диктует условия движения для микросистемы μ» [5, с. 35].

Из сопоставления всех этих соображений естественно встает вопрос о физической подоплеке принципа суперпозиции, составляющего первый блок аксиом гильбертова пространства (квантовой механики). *Если в ключевом примитиве аксиоматики квантовой теории — состоянии — микрообъект и макроприбор нераздельно связаны, то спрашивается: к чему из них в большей мере следует отнести наличие принципа суперпозиции?*

Позицию Блохинцева можно понимать так, что этот принцип следует отнести к свойствам квантового статистического ансамбля, присущего макроприбору. Однако тогда возникает другой вопрос: каковы факторы этого ансамбля? (Конечно, здесь не может идти речь о скрытых параметрах, действующих в рамках классического пространства-времени, предлагавшихся в работах многих авторов, — возврата к классическим представлениям быть не может.) В рамках копенгагенской интерпретации квантовой механики оказалось довольно трудно прояснить этот вопрос, однако он довольно естественно разрешается в рамках реляционного видения мира, изложенного в третьей части этой книги. Забегая

вперед, отметим, что решение кроется в элементарных системах отношений, составляющих макроприбор и являющихся прообразом классических систем отсчета в микромире.

Конечно, понятие макроприбора играет важную роль и в определении представления (как координатного, так и импульсного), и в аксиомах линейных операторов. Но оно также связано и с третьим блоком аксиом (полноты) гильбертова пространства, точнее, его обобщений до признания возможности векторов состояния с бесконечной длиной. Как известно, такое проявляется при сплошных спектров собственных значений. К таковым следует отнести значения координат или импульсов несвязанных частиц. По этому поводу Дирак писал: «Собственное состояние, относящееся к собственному значению в сплошном спектре, является математической идеализацией того, что может быть достигнуто практически. (...) Возможно, что бесконечная длина собственных векторов, соответствующих этим собственным состояниям, связана с их неосуществимостью, и что всем осуществимым состояниям соответствуют такие векторы, которые могут быть нормированы и образуют гильбертово пространство» [41, с. 76].

Это можно воспринимать как указание на то, что в аппарате квантовой теории заложено нечто лишнее — представления о физически нереализуемых макроприборах.

5.7. S-матрица и классическое пространство-время

Другой важный аспект квантовой теории, чрезвычайно важный для ее интерпретации в рамках монистической парадигмы, содержится во втором блоке аксиом гильбертова пространства — аксиом скалярного произведения. Он состоит в том, что наряду с пространством векторов состояний вводится пространство со-векторов состояний, и метрика (скалярное произведение) определяется для пары элементов (вектора и со-вектора) из двух разных пространств.

Этот фактор послужил основой сначала для гейзенберговской матричной формулировки квантовой механики, опирающейся на понятие матрицы элементов, характеризующих амплитуды вероятности переходов между всеми возможными парами векторов (начальных состояний) и со-векторов (конечных состояний) квантовой системы, а затем для построения так называемой *теории S-матрицы* в квантовой теории поля. В последней также определяются начальные состояния $\Phi(s)_{-\infty}$ (на минус-бесконечности) и конечные состояния системы $\Phi(r)_{+\infty}$ (на плюс-бесконечности) и, игнорируя даже постановку вопроса о промежуточных

состояниях, из самых общих принципов пытаются вывести амплитуды вероятности перехода $S(s,r)$ между парами возможных состояний, характеризуемых некими обобщенными параметрами s и r. Очевидно, что элементы S-матрицы представляют собой метрику (скалярные произведения) между элементами (векторами) двух множеств.

Идея S-матричного подхода была выдвинута Дж. Уилером и В. Гейзенбергом и развита в теорию S-матрицы в 60-х годах в трудах ряда авторов. Именно в то время большое внимание уделялось анализу оснований квантовой теории, где S-матрица обычно возникала как вторичное понятие. Однако в работах ряда исследователей был поставлен вопрос: можно ли так переформулировать квантовую теорию, чтобы столь естественное и простое понятие S-матрицы стало исходным, тогда как более привычные понятия теории — волновые функции, уравнения, лагранжианы и другие — оказались вторичными, вспомогательными.

Выше уже отмечалось, что практически всегда одну аксиоматику можно заменить на иную так, что некоторые теоремы первой становятся аксиомами второй. Тогда аксиомы первой станут теоремами второй, однако в данном случае речь шла не о простом переопределении первичных и вторичных понятий, а предлагалось значительно большее. Как уже отмечалось, в общепринятой квантовой теории приходится выходить за пределы гильбертова пространства, — для ряда процессов некоторые элементы S-матрицы получаются бесконечно большими. В S-матричном же подходе предлагалось исходить из выражений лишь с *конечными значениями* матричных элементов, непосредственно связанными с измеряемыми величинами. Этот ход мысли заставлял пересмотреть ряд положений существующей теории.

Формулировка квантовой теории на основе S-матричного подхода еще более приблизилась к аристотелевским принципам триединства первоначала, т. е. к монистической парадигме. Однако опять вставала задача, с которой столкнулся Аристотель, — необходимо было спуститься от общих принципов триединства к конкретным понятиям и закономерностям физического мира. Для этого нужно было еще опереться на какие-то принципы, позволяющим развернуть содержательную теорию, соответствующую известной физике. В 60-х годах для этой цели в теории S-матрицы были использованы принципы лоренцевской инвариантности, аналитичности, причинности и другие. Очевидно, что это означало включение дополнительных аксиом, соответствующих 4-мериях физического мира, его сигнатуре и других.

Главные надежды возлагались на *свойства аналитичности* S-матрицы. Предлагалось перейти к комплексным значениям энергий, то-

гда интегрирования производились в комплексной плоскости и важную роль приобретали методы анализа комплексных переменных с вычетами, правилами обхода полюсов и т. д. В этом подходе частицы и их характеристики описывались полюсам в комплексной плоскости. Так, в первой половине 60-х годов Ф.Чью писал: «С новой точки зрения S-матрица представляется идеально подходящим инструментом для отыскания ключа к микромиру. Более того, по всей видимости, этот ключ уже найден — он содержится в аналитичности элементов S-матрицы как функций импульсов входящих и выходящих частиц» [137].

В рамках этого направления некоторые исследователи вольно или невольно пришли к ряду концептуальных выводов, из которых выделим два: о роли макроприбора и о об отношении к классическому пространства-времени в физике микромира.

1. Один из активных исследователей теории S-матрицы Ф. Дайсон, обсуждая трудности с расходимостями в математическом аппарате квантовой теории поля, писал: «Можно истолковывать различие между содержащим расходимости гамильтоновым формализмом и формализмом с конечной S-матрицей как различие между двумя картинами мира, рассматриваемого двумя наблюдателями, которые имеют в своем распоряжении различные измерительные приборы. Первую картину, представляющую собой набор квантованных полей с локализованными взаимодействиями, видит воображаемый наблюдатель, аппараты которого не имеют атомной структуры и точность измерений которого ограничивается только существованием фундаментальных постоянных c и h. Такой наблюдатель будет называться в последующем «идеальным». Вторую картину, представляющую собой набор наблюдаемых величин (по терминологии Гейзенберга), видит реальный наблюдатель, аппараты которого состоят из атомов и элементарных частиц и точность измерений которого ограничивается не только постоянными c и h, но также такими постоянными, как α и m. Реальный наблюдатель выполняет спектроскопические наблюдения и производит эксперименты, включающие бомбардировку атомных систем различными типами взаимодействующих субатомных снарядов, однако он, насколько нам сейчас известно, никак не может измерить напряженностей отдельного поля, не возмущенного в результате взаимодействия этого поля с другим полем. Идеальный наблюдатель, используя свои аппараты так, как это было описано при анализе гамильтонова формализма Бором и Розенфельдом, производит, наоборот, измерения как раз последнего рода, и именно в связи с такими измерениями интерпретируются перестановочные соотношения для полей... Парадокс заключается в действительности в

том, что в настоящей статье (в статье Дайсона — Ю. В.) при выводе конечных выражений приходится исходить из бесконечных выражений. Соответственно этому следует ожидать, что будущая теория будет представлять собой не столько изменение настоящей теории в сторону замены всех бесконечных величин на конечные, сколько такую перестановку отдельных частей теории, после которой конечные величины станут первичными, а бесконечные — вторичными. (...) Гамильтонов формализм должен выступать как предельная форма описания мира, рассматриваемого наблюдателем определенного типа; при этом данный предел достигается тогда, когда допустимая для наблюдателя точность измерений стремится к бесконечности» [39, с. 237.].

Это высказывание Дайсона тесно перекликается со сделанными выше замечаниями о связи принципа суперпозиции с понятием макроприбора.

2. Другой активный исследователь квантовой теории поля середины XX века Ф. Чью пришел к еще одному важному выводу. Об этом он написал статью с характерным названием «Сомнительная роль пространственно-временного континуума в микроскопической физике», где было сказано: «Как только аналитичность полагается базисным принципом, из нее вытекает невероятное число следствий. Стапп показал, что все общие симметрии, до этого следовавшие из теории поля, могут быть выведены из аналитичности. Более того, предписания, которые составляют квантовую электродинамику, также могут быть выведены. Фактически, *все* предсказательные возможности, даваемые теорией поля, могут быть воспроизведены аналитической S-матрицей без какого-либо упоминания пространства-времени или полей. Это положение было впервые высказано Гелл-Манном в 1956 году и проверено большой серией последующих исследований, проведенных такими авторами, как Голдбергер, Лоу, Мандельстам, Нишиджима, Ландау, Кутковский, Фройссат, Стапп, Полкингорн и Гунсон. И это достижение является только началом» [138, с. 535].

Здесь поднят чрезвычайно важный концептуальный вопрос о приоритете координатного или импульсного пространств в физике микромира. Известно, что уже в рамках классической аналитической механики проявились поразительные аналогии между координатным и импульсным описанием. Например, это имеет место в канонических уравнениях Гамильтона

$$\dot{p}_k = -\frac{\partial H}{\partial q_k}; \quad \dot{q}_k = \frac{\partial H}{\partial p_k}, \tag{5.7.1}$$

где q_k и p_k — канонически сопряженные обобщенные координаты и импульсы, в классических скобках Пуассона и в других положениях классической механики. Еще большая аналогия и симметрия координат и импульсов проявилась в квантовой механике и в квантовой теории поля: в соотношениях неопределенностей (5.5.4), в перестановочных соотношениях, в эквивалентности координатного и импульсного представлений (5.5.2)–(5.5.4) и т. д. Этот факт даже заставил некоторых видных физиков-теоретиков поставить вопрос о том, что в физике следует считать более фундаментальным (первичным): координаты (координатное пространство-время) или импульсы (импульсное пространство)?

Как видим из высказывания Чью, он выступает за первичный характер импульсного пространства в физике микромира, описываемой на основе S-матричного подхода. Он пришел к выводу, что «концепция пространства и времени играет в современной физике микромира роль, аналогичную той, что играл эфир в макроскопической физике XIX века» [138, с. 529]. Там же он задается вопросом: «Почему же тогда не наблюдается панического бегства физиков от теории поля и пространства-времени в распростертые объятия аналитической теории S-матрицы?» Чью объяснял это консерватизмом физиков и привычкой описывать динамику посредством уравнений поля, выражая уверенность в том, что это временное явление: «Физика двадцатого столетия уже испытала две живительные революции — в виде теории относительности и квантовой механики. Сейчас мы стоим на пороге третьей» [138, с. 539].

Данная статья была написана в середине XX века, но физика в двадцатом столетии так и не переступила порог третьей революции. Время показало, что принцип аналитичности S-матрицы оказался не столь фундаментальным, чтобы поднять физику на принципиально новый уровень — перейти к монистической парадигме. Однако это не умаляет роль S-матрицы в квантовой физике. Правильнее было бы считать, что следует искать иные ключевые свойства S-матрицы, действительно имеющие фундаментальный характер. Они будут предложены в третьей части при переходе от реляционного видения мира к монистической парадигме.

5.8. Вторичное квантование и виды движения у Аристотеля

Изложенное выше в значительной части относится к *первично квантованной теории* — к квантовой механике. В ее основе лежит переход от

корпускул (частиц) к волновым полям — амплитудам вероятности пребывания частиц в различных состояниях. Эволюция, описываемая волновыми уравнениями, по сути дела выражает вложение состояний (вероятностных понятий) в классическое пространство-время, она осуществляется без участия данной частицы в реальных процессах.

Но квантовая теория описывает и другие виды движения, соответствующие другим аристотелевским движениям: в отношении сущности — возникновение и уничтожение элементарных частиц, в отношении количества — увеличение или уменьшение неких характеристик частиц, в отношении качества — качественные изменения в виде взаимных превращений частиц. Для описания этих видов движения в квантовой теории был развит метод вторичного квантования, а квантовая теория таких процессов была названа *вторично квантованной*.

Введение в квантовую теорию движения, соответствующего аристотелевскому *изменению сущности*, было тесно связано с обнаружением Дираком решений его уравнений с отрицательными значениями энергии, которые были интерпретированы как описывающие античастицы. Вскоре были экспериментально обнаружены позитроны, а затем — процессы рождения и уничтожения (превращения в кванты полей переносчиков взаимодействий) пар элементарных частиц (из частицы и античастицы). Как писал В.Гейзенберг: «Открытие антиматерии привело к радикальным изменениям в фундаментальных понятиях атомной физики, и можно спорить о том, что оказало большее воздействие на сознание, по существу, новой физической картины в нашем столетии — открытие ли Планком кванта действия или же открытие Дираком антиматерии. (...) Процесс порождения пар показывает, что число частиц не является более удовлетворительным квантовым числом, ибо это число оказалось несохраняющейся величиной» [43, с. 85].

Аристотелевскому движению *изменения качества* в квантовой теории соответствуют процессы распада элементарных частиц. Фактически они были обнаружены на границе XIX–XX веков в уже упоминавшихся экспериментах Беккереля с радиоактивными элементами. В XX веке было открыто и исследовано множество различных процессов взаимного превращения элементарных частиц, описываемых с помощью методов вторичного квантования. Принято такую теорию называть *квантовой теорией поля*, в отличие от квантовой механики.

Квантовая теория поля является естественным обобщением квантовой механики, — в ней векторы состояний (волновые функции) частиц объявляются операторами ($\psi \to \hat{q}$), обладающими некоторыми специальными свойствами. Поскольку операторы в математике всегда долж-

ны действовать на что-то, то в квантовой теории вводится специальное *вакуумное состояние* Φ_0, соответствующее отсутствию частиц (и полей). Частицы определяются как результат действия соответствующих им операторов на вакуумное состояние $\hat{q}\Phi_0$). Операторы обладают рядом свойств, которые также можно перечислить аксиоматически, в частности, они удовлетворяют специальным перестановочным соотношениям.

Операторы вводятся как для фермионных, так и для бозонных полей, т. е. здесь опять проявляется симметрия частиц и полей переносчиков взаимодействий. Однако, как и ранее, имеется различие, связанное с трансформационными свойствами соответствующих полей. Операторы фермионных полей $\hat{q}_a^{(f)}$ подчиняются антикоммутационным (антисимметричным) соотношениям

$$\hat{q}_a^{(f)}\hat{q}_c^{(f)} + \hat{q}_c^{(f)}\hat{q}_a^{(f)} = \Delta_{ac}, \tag{5.8.1}$$

а операторы бозонных полей $\hat{q}_\mu^{(b)}$ — коммутационным (симметричным) соотношениям

$$\hat{q}_\mu^{(b)}\hat{q}_\nu^{(b)} - \hat{q}_\nu^{(b)}\hat{q}_\mu^{(b)} = \Delta_{\mu\nu}, \tag{5.8.2}$$

где нижние символы при операторах имеют собирательное значение, а правые части, обозначенные символами $\Delta_{..}$, являются -числами (не операторами), вид которых зависит от представления операторов (координатного или импульсного).

Квантовая теория поля призвана описать вероятности (точнее, амплитуды вероятности) различных процессов превращения частиц. Напомним, амплитуда вероятности представляет собой некоторое комплексное число (-число). Оно находится по некоторым специфическим правилам, очень близким к привычной методике квантовой механики. В символическом виде это число можно представить следующим образом

$$S = \overline{\Phi}_{-\infty} S(\hat{q}) \Phi_{+\infty} = \left(\overline{\Phi}_0 \overline{\hat{q}}_{e1} \overline{\hat{q}}_{e2} \cdots \overline{\hat{q}}_{en}\right) S(\hat{q}) \left(\hat{q}_{b1}\hat{q}_{b2}\cdots\hat{q}_{br}\Phi_0\right), \tag{5.8.3}$$

где справа записаны операторы всех полей в начальном состоянии, действующие на вакуумное состояние Φ_0, а слева указаны операторы частиц в конечном состоянии, также представленные в виде произведения соответствующих операторов, действующих на вакуум в конечном состоянии. В середине записано некоторое операторное выражение, содержащее фермионные и бозонные операторы. Она позволяет найти элементы S-матрицы с помощью специальной методики работы с операторными выражениями. Необходимо избавиться от

всех операторов так, чтобы отстались только c-числа. Это достигается перестановкой операторов влево и вправо до состояний вакуума, чтобы они, подействовав на противоположные своему состояния вакуума, уничтожились, оставив лишь правые части коммутационных соотношений (c-числа) в (5.8.1) или (5.8.2). Получившаяся комбинация c-чисел и определяет амплитуду вероятности соответствующего процесса.

Здесь следует особо отметить, что данная процедура не включает в себя эволюцию, описываемую волновыми уравнениями. Это означает, что операторные функции, как говорят, записываются в импульсном представлении, т. е. зависят от компонент импульсов частиц, их спинов и зарядов.

Обычно эту ситуацию поясняют так, что рассматриваются начальное состояние системы на «минус-бесконечности» и конечное состояние на «плюс-бесконечности», где частицы уже перестают взаимодействовать друг с другом, и интересуются лишь результатом их взаимодействий.

Главное в этой методике состоит в написании операторного выражения для $S(\hat{q})$, что делается с помощью лагранжиана взаимодействующих частиц (см., например [9]). Особенно детально этот вопрос проработан для квантовой электродинамики. Оказывается, для многих процессов указанная процедура сводится к рассмотрению довольно простых алгебраических соотношений, построенных по строго заданным правилам Фейнмана.

При описании электромагнитных взаимодействий электронов, позитронов и фотонов фейнмановские диаграммы содержат всего несколько факторов, которым соответствуют элементы диаграммы и выражения: вершинные части, отрезки прямых и волнистых линий с открытым с одной стороны концом или ограниченными вершинными частями с двух сторон.

В квантовой теории поля имеются серьезные трудности, связанные с появлением бесконечно больших значений[1] (расходимостей) некоторых

[1] Следует отметить, что появление расходящихся величин в квантовой электродинамике не является свойством лишь квантовой теории. В классической электродинамике имеется их аналог. Так, при вычислении собственной энергии, допустим, электрона, обусловленной его электромагнитным полем, следует взять интеграл от плотности энергии по всему пространству. Легко показать, что этот интеграл расходится при интегрировании от нуля (для точечной частицы), что в импульсном представлении соответствует ультрафиолетовым расходимостям. Предлагались различные методики перехода от точечных частиц к частицам конечных размеров — своеобразные классические перенормировки, однако здесь возникают проблемы с сохранением релятивистской инвариантности и других положений теории

физических величин (масс, зарядов и др.). В квантовой электродинамике можно назвать три типа расходимостей:

1) расходимости при малых импульсах (инфракрасная катастрофа);
2) расходимости при больших импульсах (ультрафиолетовые расходимости).
3) расходимости, обусловленные совпадением полюсов подинтегральных выражений.

Анализ показывает, что все эти расходимости можно исключить, введя в теорию две бесконечно большие величины с другим знаком, их компенсирующие. Однако такие процедуры, называемые перенормировками, обладают рядом недостатков, не позволяющих считать данную проблему решенной.

Для процессов, описываемых другими взаимодействиями, диаграммы могут существенно усложняться из-за того, что в них возникают иные вершинные части. Это означает введение других правил фейнмановского типа.

Принято различать перенормируемые и неперенормируемые теории. Перенормируемыми, к которым относится электродинамика, называются такие, в которых все расходимости можно устранить введением в теорию конечного числа компенсирующих их бесконечных констант. Их немного. В неперенормируемых теориях возникает бесконечно большое число видов расходящихся величин, т. е. ситуация с расходимостями осложняется во много раз.

Наличие расходимостей в квантовой теории поля, которые не удается устранить удовлетворительным образом, является свидетельством ее неблагополучия. Без преувеличения можно утверждать, что решение проблемы устранения расходимостей считалось одной из важнейших задач в теоретической физике второй половины XX века. Напомним, что бесконечные значения некоторых величин возникают в некоторых ситуациях и в других разделах теоретической физики, в частности, в общей теории относительности. Анализ таких ситуаций позволяет утверждать, что *всякое появление расходимости следует понимать как звонок, предупреждающий, что в соответствующих ситуациях теория становится неприменимой, как фактор, свидетельствующий о том, что какие-то ее положения теряют силу.* Точно так же нужно относиться и к расходимостям в квантовой теории поля. Однако здесь ситуация усугубляется тем, что расходимости возникают не в каких-то экзотических ситуациях, а при вычислениях основополагающих величин и процессов.

5.9. Развитие дуалистической парадигмы

Во второй половине XX века на магистральном направлении развития физики (в рамках физического миропонимания) надежды возлагались последовательно на несколько ключевых идей и принципов. В 50-х годах в центре внимания были диаграммы Фейнмана, затем доминирующими стали исследования по аксиоматике квантовой теории. В 60-х годах усилия исследователей были сосредоточены на методе S-матрицы, точнее на свойствах аналитичности S-матрицы. В 70-х и начале 80-х годов упор делался на групповые методы и калибровочную теорию физических взаимодействий, принесшую значительные результаты в виде калибровочных теорий электрослабых и сильных взаимодействий. Во второй половине 80-х — начале 90-х годов надежды возлагались на суперсимметричные теории, а в самом конце XX века — на суперструны и n-браны.

Можно утверждать, что все названные исследования выполнялись в рамках дуалистической парадигмы и соответствующей ей копенгагенской интерпретации квантовой теории, т. е. на основе концепции близкодействия при сохранении в том или ином виде категории пространства-времени. Они были нацелены на объединение физических взаимодействий, а также фермионных и бозонных полей. Искомая теория должна была содержать константы, характеризующие теорию относительности, квантовую теорию и теории гравитации и других взаимодействий.

Поскольку на протяжении всей книги рассматриваемый материал иллюстрируется посредством куба физической реальности, здесь уместно вспомнить еще об одном кубе — кубе Зельманова, вершины которого соотнесены с частными видами физических теорий (имеющихся и искомой), демонстрируя их соотношение друг с другом. Этот куб строится на трех осях, соответствующих трем фундаментальным физическим константам: скорости света c, гравитационной постоянной G и постоянной Планка $\hbar$. На рисунке 5.2 изображен куб Зельманова со специальным выборомнаправлений осей, наиболее близко соответствующим осям нашего куба физической реальности. (Очевидно, направление «вверх» оси c соответствует физической категории пространства-времени, направление «вправо» оси G — категории полей, в данном случае — гравитационного поля, а направление оси $\hbar$ «вперед» — категории частиц, для которых строится квантовая механика.) Вершина куба в начале координат изображает ньютонову механику, как известно, не содержащую ни одну из названных констант. Вершина куба на оси G соответствует ньютоновой механике в ньютоновом гравитационном поле. Вершина куба на оси $\hbar$ изображает нерелятивистскую квантовую механику, а вершина куба на

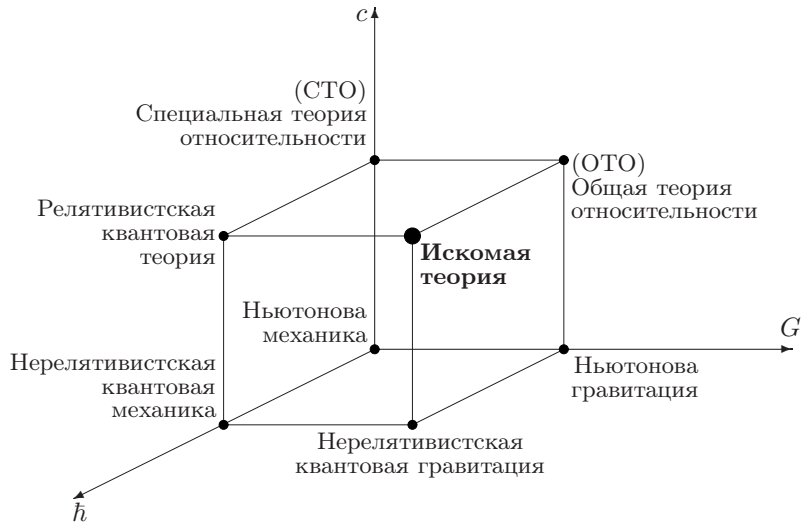

Рис. 5.2. Зельмановский куб соотношения физических теорий

оси c соответствует релятивистской механике, или, иначе говоря, специальной теории относительности (СТО). Вершина куба в плоскости осей c и $\hbar$ должна быть сопоставлена с релятивистской квантовой теорией поля. Вершина куба в плоскости осей c и G олицетворяет современную теорию гравитации (общую теорию относительности), а вершина в плоскости $\hbar$ и G должна пониматься как нерелятивистская квантовая механика в присутствии ньютонова гравитационного поля. Оставшаяся восьмая вершина куба в противоположном конце главной диагонали, исходящей из начала координат, соответствует искомой теории, совмещающей в себе квантовую теорию поля и теорию гравитации (эйнштейновскую общую теорию относительности).

Добавим к этому, что на рубеже двух веков помыслы физиков были направлены на решение еще более грандиозной задачи — на построение объединенной теории, включающей теории электрослабых (модель Вайнберга—Салама—Глэшоу) и сильных взаимодействий (хромодинамику), наглядный учет которых потребовал бы перехода от куба в трех измерениях к гиперкубу в пространстве большего числа измерений (с учетом количества констант, характеризующих электрослабые и сильные взаимодействия), или, иначе, — на горизонтальной оси G следовало бы изобразить сразу все константы, характеризующие четыре физических взаимодействия.

В этих исследованиях, как правило, использовалось чрезвычайно важное допущение метафизического характера: вспомогательный математический объект, введенный для построения вторично квантованной теории поля, овеществлялся и приобретал статус самостоятельного физического объекта, фактически претендующего на роль первоосновы не только категории полей переносчиков взаимодействий и частиц, но и всего мироздания. Вакуум и вакуумные состояния в данном подходе следует воспринимать как единое начало, открывающееся в такой форме со стороны физического миропонимания.

Так, Дж. Уилер с соавторами писал: «Пустое пространство вовсе не является пустым — оно представляет собой вместилище самых бурных физических процессов. Электромагнитное поле флуктуирует. Там непрерывно рождаются и аннигилируют виртуальные пары электронов и позитронов, пары мю-мезонов, пары барионов и пары других частиц. Все эти флуктуации существуют наряду с квантовыми флуктуациями геометрии и топологии пространства» [82, с. 469].

Аналогичную позицию занимает А. А. Гриб, работающий в области квантовой теории поля и гравитации: «Проблема материи или «тверди», на которой стоит мир, с древнего времени волновала человечество. Однако каково было бы удивление древних мыслителей, если бы они узнали, что, согласно представлениям физиков XX века, такой основой мира является... вакуум! В самом деле, возбуждениями именно вакуумного состояния являются все элементарные частицы, из которых, в свою очередь, сложен весь окружающий мир. Поэтому изучение вакуума и его свойств превращается в одну из наиболее фундаментальных задач теоретической физики. Постараемся пристальнее всмотреться в то, что же собой представляет вакуум. Прежде всего заметим, что от старой, вполне рационально формулируемой концепции «небытия» мало что осталось. (...) Небытие как отсутствие и частиц, и поля невозможно. Всматриваясь в вакуум, мы видим не темноту, а отдельные мерцающие вспышки — флуктуации вакуума, или нулевое поле вакуума. (...) Тем самым в физике элементарных частиц возникает парадоксальная ситуация, когда в основе одной из наиболее рациональных областей знания — теоретической физики — лежит совершенно иррациональное представление. Можно было бы придумать множество поэтических названий для вакуума физики элементарных частиц — это «мир» Гейзенберга, и «бездна», и меон древних греков и т. п. Однако бесконечность плотности энергии и полной энергии вакуума — это еще не все его необычные свойства» [37, с. 3].

Однако такой вакуум еще нельзя назвать в полном смысле единым первоначалом, поскольку он еще наделен многими атрибутами катего-

рий дуалистической парадигмы. Например, в процитированном высказывании Гриба говорится о «бесконечной плотности энергии», что предполагает пространственно-временные понятия. В высказывании Уилера с соавторами говорится о «пустом пространстве», как «вместилище самых бурных физических процессов». Все это заставляет назвать *физический вакуум как временное (промежуточное) представление о едином первоначале с позиции физического миропонимания.*

Состояние исследований конца XX века в области квантовой теории поля свидетельствуют о том, что остаются в силе слова, которыми П. А. М.Дирака завершил свою книгу «Принципы квантовой механики»: «Удалось достичь успеха в выработке некоторых правил, дающих возможность самосогласованным образом отбрасывать бесконечности, вызванные флуктуациями. Таким путем была получена более или менее удовлетворительно действующая теория, которая позволяет выполнять вычисления величин, допускающих сравнение с экспериментом. Было найдено хорошее согласие теории с экспериментом, свидетельствующее о некоторой законности предложенных правил. Но эти правила применимы только к частным задачам, обычно задачам столкновений, и они плохо согласуются с логическими основами квантовой механики. Их нельзя поэтому рассматривать как удовлетворительное решение трудностей. Нам представляется, что мы следовали по пути логического развития идей квантовой механики в их современном понимании настолько далеко, насколько это возможно. Встреченные трудности, ввиду их глубокого характера, могут быть устранены лишь радикальным изменением основ теории, вероятно столь же радикальным, как и переход от теории боровских орбит к современной квантовой механике» [41, с. 427].

5.10. Черты квантовой теории в монистической парадигме

На рубеже XX и XXI столетий фундаментальная теоретическая физика созрела для перехода от используемой дуалистической парадигмы физического миропонимания к новой, монистической парадигме. Необходимость радикальных изменений в основаниях физики ощущалась многими физиками-теоретиками, причем в XX веке неоднократно предпринимались настойчивые попытки это сделать: в рамках аксиоматического подхода к квантовой теории, с помощью теории S-матрицы, теории групп и калибровочного подхода, принципа суперсимметрии и некоторых других идей.

В данной книге предлагается опереться на принципы метафизики, которые, во-первых, проясняют направление научного поиска (к монистической парадигме) и, во-вторых, позволяют выделить из всего множества высказывавшихся идей именно те, которые способствуют переходу к монистической парадигме. Для этого понадобился анализ всех трех миропониманий. На основе принципов метафизики и обсужденного здесь физического миропонимания можно назвать следующие черты искомой теории монистической парадигмы.

1. Теория монистической парадигмы опирается на единое неразрывное первоначало, которое, согласно идеям античности (учений Пифагора, Платона и Аристотеля), неизбежно должно проявляться через несколько сторон, точнее, — через суперпозицию двоичности (двуединства) и троичности (триединства).

Наличие монистической парадигмы не требует специального физического доказательства, а является утверждением метафизического характера. Тем не менее, ряд физиков, восходя от частных понятий и принципов к общим, почувствовали ее возможность и фактически высказывались в пользу перестройки квантовой теории в соответствии с этой парадигмой.

2. Двоичность проявляется в возможности, выступая в виде начальных и конечных состояний в любом квантовомеханическом процессе. В квантовой механике (в конкретном представлении) она отражается посредством волновых и сопряженных с ними функций. В дираковском аксиоматическом подходе двоичность выражается в виде двух типов векторов «бра» и «кет», а в S-матричной формулировке квантовой теории — в состояниях системы на минус- и плюс-бесконечностях.

Идея S-матричного подхода представляется необходимой для построения теории монистической парадигмы, однако это понятие должно быть очищено от ряда наслоений как со стороны стандартной квантовой теории, так и со стороны классических представлений. Под классическими наслоениями понимаем трактовку S-матрицы в моменты времени на плюс- и минус- бесконечностях, а под квантовыми — вывод и обоснование свойств S-матрицы из сложившейся квантовой теории поля.

В наличии двух сторон квантомеханических процессов можно усмотреть проявления двух противоположностей в философских системах Пифагора и Платона.

3. Третья сторона триединства, связывающая между собой две противоположные стороны возможности, проявляется в квантовой теории (как дуалистической, так и в монистической парадигме) в виде комплексной амплитуды вероятности перехода между начальным и конечным состояниями. Амплитуда вероятности (метрика) соответствует тре-

тьей стороне (сущности) в аристотелевской философии, связывающей две платоновские противоположности. Она характеризует переход от возможности к действительности.

Напомним, что в определении гильбертова пространства амплитуда вероятности вводится через скалярное произведение двух типов векторов, т. е. через своеобразную комплексную метрику квантовой теории, и является аналогом (и прообразом) классического расстояния, или метрики в геометрии.

Комплексность амплитуды вероятности отражает тот факт, что в микромире теряет смысл привычная в классической геометрии аксиома Архимеда о сравнимости любых двух длин (расстояний).

4. Теория монистической парадигмы должна строиться на базе собственной системы понятий и принципов, не опирающихся на классические пространственно-временные понятия. Ряд аксиом гильбертова пространства составляет существенную часть постулатов теории монистической парадигмы, но недостаточную для построения содержательной теории, отражающей содержание современной физики. По судьбе выдвигавшихся в XX веке физических теорий и программ видно, что идеи аналитичности S-матрицы, причинности и другие оказались непригодными для этой цели. Необходимы принципы, соответствующие характеру аристотелева триединства. Со стороны физического миропонимания их трудно усмотреть, однако это представляется возможным сделать, исходя из реляционного миропонимания.

Отдельно следует остановиться на мнении, что квантовая теория принципиально нуждается в макропонятиях (в понятиях классического пространства-времени). Ссылки на то, что наблюдатель может судить о квантовой системе лишь на основе классических понятий (макропонятий), не являются достаточным основанием отсутствия самостоятельной системы понятий в физике микромира. Они лишь свидетельствуют о том, что для интерпретации новой теории от нее нужно уметь переходить к доступным наблюдателю понятиям. Подобное обстоятельство имело место и в других теориях, например, в специальной и общей теориях относительности, но это не мешало их строить на собственной, замкнутой системе понятий и принципов.

5. Триединое первоначало монистической парадигмы представляет собой обобщенную категорию, вобравшую в себя три категории триалистической парадигмы: частицы, поля переносчиков взаимодействий и пространство-время.

6. В теории монистической парадигмы следует ожидать еще более радикальный отход от привычных классических понятий и принципов. Особо важным становится вопрос о методике возвращения от абстракт-

ных понятий монистической парадигмы к привычным представлениям (категориям) триалистической парадигмы. Здесь следует отдельно выделить два блока вопросов:

а) выведение из понятий монистической парадигмы классических пространственно-временных отношений;
б) получение из новых обобщенных понятий теории характеристик привычной категории полей переносчиков взаимодействий, которые соответствовали бы всем известным видам фундаментальных физических взаимодействий.

В главах 12 и 13 третьей части книги предложен путь решения поставленных здесь проблем. Желающие как можно быстрее с ним ознакомиться могут сразу перейти к чтению этих глав, однако при этом неизбежно придется возвращаться за пояснениями в предыдущие главы, особенно в главы 8 («Многомерность физического мира») и 11 («Реляционная концепция пространства-времени и теория физических структур»). В данной книге избран путь последовательного изложения необходимых сведений метафизического характера, присущих трем миропониманиям.

Часть II

Геометрическое миропонимание

Идеологические предпосылки геометрического миропонимания были заложены в трудах Декарта и Канта, а физические (экспериментальные) — сложились после опытов Галилея по падению тел с Пизанской башни. Однако разработке содержательной теории, соответствующей этому миропониманию, препятствовали укоренившиеся представления о свойствах пространства и времени, согласно которым пространство считалось однородным (одинаковым во всех точках) и изотропным (одинаковым по всем направлениям); время также полагалось однородным. Это представлялось настолько очевидным, что не виделось даже предмета обсуждений. А как же могло быть иначе?! Оставалось только принимать пространство и время априорно заданными именно с такими свойствами, что и проявилось в философии Канта. Понадобились века (если не тысячелетия), чтобы осознать возможность существования более общих пространственно-временных многообразий, позволяющих включить в себя категорию полей переносчиков взаимодействий.

Геометрическое миропонимание опирается на иную пару, по сравнению с физическим, категорий: пространство-время (П-В) и поля (П) переносчиков взаимодействий, которые объединяются в одну обобщенную категорию искривленного пространства-времени. Оставшаяся категория частиц (Ч) либо считается самостоятельной и вкладывается в искривленное пространство-время, либо полагается производной от двух названных (вторичной). Геометрическое миропонимание соответствует взгляду на куб физической реальности «сзади» через грань, образованную осями категорий П-В и П (см. рис. II.1).

Геометрический взгляд на мир существенно меняет характер теории, так как, во-первых, при таком подходе расщепляется общая (в рамках

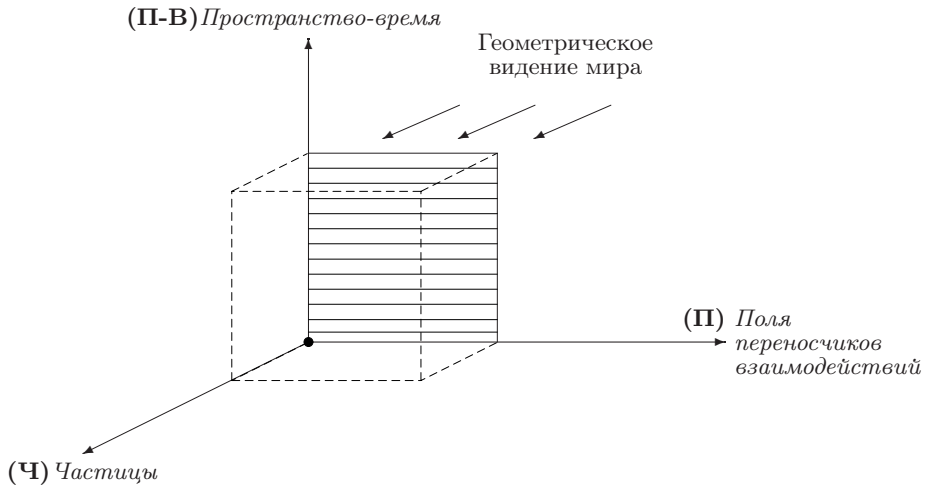

Рис. II.1. Геометрическое миропонимание физической реальности

физического миропонимания) категория полей на геометризующиеся бозонные поля (переносчики взаимодействий) и на фермионные поля (частицы), которые вкладываются в геометрию извне. Во-вторых, координатное пространство-время становится исходным понятием, без которого немыслимы какие-либо построения. Напомним, в квантовой теории координатное представление понимается как одно из возможных и даже ставится вопрос об отказе от классического пространства-времени в микромире. В-третьих, радикально меняются приоритеты и весь круг рассматриваемых проблем. Главными становятся задачи выделения из геометрических понятий (из метрики, связностей, кривизны и т. д.) выражений, соответствующих характеристикам физических (бозонных) полей. В-четвертых, многие достижения квантовой теории (в физическом миропонимании) оказались трудно согласуемыми с геометрией, — так и не нашла своего решения в течение XX века проблема совмещения принципов общей теории относительности и квантовой теории.

Глава 6

От Евклида до Эйнштейна

Истоки идеи об искривленности пространства (точнее, пространства-времени) также были заложены еще в античности. Все началось с известной истории с пятым постулатом Евклида, на первый взгляд, не имеющей никакого отношения к физике и тем более к описанию полей переносчиков физических взаимодействий. Исходным моментом стал анализ логических основ евклидовой геометрии, представлявшейся единственно возможной, априорно заданной, но в итоге возникли ее альтернативные варианты.

В процессе формирования предпосылок общей теории относительности ярко проявилась взаимная обусловленность всех трех ключевых факторов теории: математического аппарата (логической стороны), физического (точнее, философского) осмысления и эксперимента (запросов практики и опытного подтверждения). В данном случае ведущим оказался логический (рациональный) фактор, затем последовало философское осмысление и только потом вступил в силу экспериментальный фактор. В таком порядке и изложен материал данной главы. После анализа истории открытия неевклидовых геометрий рассмотрены первые идеи об их возможном физическом смысле. Здесь ключевую роль сыграли работы В. Клиффорда, Э. Маха и А. Пуанкаре. Наконец, в заключительном параграфе этой главы достижения математики (геометрии) и ее осмысление связываются с последним фактором — опытом, позволившим превратить геометрию, как часть математики, в раздел теоретической физики.

Любопытно также отметить, что созданию эйнштейновской общей теории относительности предшествовала история, развернувшаяся вокруг *трех вариантов классических геометрий* (с симметриями). Впоследствии эти варианты оказались в основе трех однородных и изотроп-

ных космологических моделей Фридмана, следующих из общей теории относительности.

6.1. Пятый постулат Евклида

В начале III в. до н.э. Евклидом (ок. 356 — ок. 300 до н.э.) было составлено обширное сочинение в 13 томах, известное под названием «Начал», которое по глубине и широте охвата, по логической стройности не имело себе равных в истории математики. Утверждают, что «Начала» были некогда самой распространенной книгой после Библии. В этом труде в соответствии с логической схемой рассуждений Аристотеля был изложен основной материал античной геометрии, составлявший практически до XIX века основу геометрических знаний. Все содержание геометрии Евклид изложил аксиоматически как цепь теорем, выводимых из небольшого числа основных (принимаемых без доказательств) положений. Как уже отмечалось, в современных аксиоматиках геометрий, как правило, содержится более двух десятков аксиом. Примерно такое же число основных положений (гипотез, как их называл Платон) содержится и в аксиоматике Евклида, различавшего аксиомы, определения и постулаты. К аксиомам Евклид отнес исходные положения, общие как для геометрии, так и для арифметики[1]:

1) равные одному и тому же равны между собой;
2) и если к равным прибавляют равные, то и целые будут равны;
3) и если от равных отнимаются равные, то остатки будут равны;
4) и если к неравным прибавляются равные, то целые будут не равны;
5) и удвоенные одного и того же равны между собой;
6) и половины одного и того же равны между собой;
7) и совмещающиеся друг с другом равны между собой;
8) и целое больше части;
9) и две прямые не содержат пространства.

Определениями названы геометрические положения, характеризующие исходные понятия. В качестве примера приведем несколько из них:

1) точка есть то, что не имеет частей;
2) линия же — длина без ширины;
3) концы же линии — точки;

[1] Приводимые аксиомы и определения взяты из книги П. П. Гайденко [30, с. 143–144].

4) прямая линия есть та, которая равно расположена относительно точки на ней;
5) поверхность есть то, что имеет только длину и ширину;
6) концы же поверхности — линии.

Легко видеть, что как в аксиомах, так и в определениях, ничего не говорится о существовании понятий, о которых идет речь. Эта задача решается в третьей группе исходных положений, названных Евклидом постулатами:

«1. Чтобы от каждой точки к каждой точке можно было провести прямую линию.
2. И чтобы ограниченную прямую можно было непрерывно продолжить до прямой.
3. И чтобы из любого центра любым радиусом можно было описать окружность.
4. И чтобы все прямые углы были друг другу равны.
5. И чтобы всякий раз, как прямая, пересекая две прямые, образует с ними внутренние односторонние углы, составляющие вместе меньше двух прямых, эти прямые при неограниченном продолжении пересекались с той стороны, с которой эти углы составляют меньше двух прямых» [73, с. 23].

Уже беглого взгляда достаточно, чтобы заметить, что по уровню наглядности содержание пятого постулата резко отличается от содержания первых четырех. Многим математикам на протяжении более чем двух тысячелетий представлялось, что этот постулат на самом деле является теоремой, т. е. логическим путем может быть доказан на основе остальных аксиом. Существует мнение, что и сам Евклид испытывал колебания, отнеся пятое утверждение в разряд постулатов. Иначе, чем объяснить, что материал в «Началах» состоит как бы из двух частей: теорем, которые доказываются без использования пятого постулата (абсолютная геометрия), и ряда теорем, опирающихся на пятый постулат (собственно евклидова геометрия)? Видимо, сам Евклид пошел на этот шаг, потерпев неудачу в попытках доказательства пятого постулата.

Так или иначе, но в течение двух тысячелетий было предпринято множество попыток доказать пятый постулат. Из истории математики известно, что различные варианты доказательств предлагали [73, с. 10]: Посидоний (I в. до н.э.), Птолемей (II в. н.э.), Прокл (410–485), Насир-эддин (1201–1274), Валлис (1616–1703), Саккери (1667–1733), Ламберт (1728–1777), Лежандр (1752–1833), Фаркаш Бояи (1775–1856) и многие другие. При внимательном рассмотрении предложенных доказательств

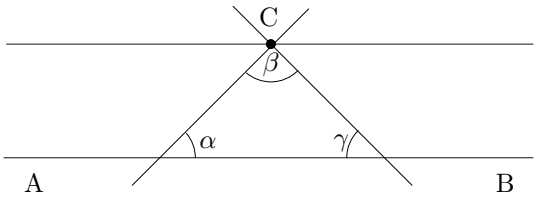

Рис. 6.1. Евклидова геометрия

выяснялось, что либо в них допускались логические ошибки, либо по ходу дела предполагалось как очевидное нечто такое, что было равносильно утверждению пятого постулата. Например, вышеприведенной его формулировке эквивалентны следующие утверждения (см. рис. 6.1):

«Через точку C, лежащую вне данной прямой AB, проходит только одна параллельная ей прямая», т. е. прямая, лежащая в одной плоскости с данной прямой и не пересекающая ее).

«Сумма углов любого плоского треугольника равна двум прямым углам, или 180°» и т. д. Можно привести большое число подобных равносильных утверждений.

В истории человечества насчитывается не так много проблем, на решение которых было затрачено столько же усилий, сколько на попытки доказать пятый постулат Евклида. Возможно, сравниться с этим могут лишь поиски в средние века «философского камня» или бесчисленные попытки создания «вечного двигателя». Подчас эти усилия принимали драматический характер. В качестве примера можно привести письмо Фаркаша Бояи сыну Яноши, унаследовавшему от отца занятие этой проблемой: «Ты не должен пытаться одолеть теорию параллельных линий; я знаю этот путь, я проделал его до конца, я прожил эту бесконечную ночь, и весь свет, всю радость моей жизни я там похоронил. Молю тебя, оставь в покое учение о параллельных линиях; ты должен страшиться его, как чувственных увлечений; оно лишит тебя здоровья, досуга, покоя, оно погубит счастье твоей жизни. Этот глубокий, бездонный мрак может поглотить тысячу таких гигантов, как Ньютон; никогда на земле не будет света, и никогда бедный род человеческий не достигнет совершенной истины, не достигнет ее в геометрии; это ужасная вечная рана в моей душе; да хранит тебя Бог от этого увлечения, которое так сильно овладело тобой. Оно лишит тебя радости не только в геометрии, но и во всей земной жизни. Я готов был сделаться мучеником этой истины, чтобы только подарить человечеству геометрию, очищенную от этого пятна; я проделал гигантскую, тяжелейшую работу; я достиг гораздо

большего, чем то, что было получено до меня, но совершенного удовлетворения я не получил.

Учись на моем примере; из-за того, что я хотел постичь теорию параллельных линий, я остался безвестным. Это отняло у меня всю мою кровь, все мое время. Здесь зарыт корень всех моих последующих ошибок. Если бы я мог открыть загадку параллельных линий, пусть об этом никто бы не узнал, я стал бы ангелом...

Непостижимо, что в геометрии существует эта непобежденная темнота, этот вечный мрак, туча, пятно на девственной, нетронутой истине... Дальше геркулесовы столпы; ни шагу дальше, или ты погибнешь!» [73, с. 20].

Несомненно, проблема параллельных линий имеет метафизический характер.

6.2. Неевклидова геометрия Лобачевского

Решение проблемы, стоявшей перед человечеством более двух тысячелетий, выход за «геркулесовы столпы», удалось найти лишь в первой трети XIX века. Этот важный шаг в истории мысли был связан с именами Николая Ивановича Лобачевского, Яноша Бояи и Карла Гаусса.

При некотором различии использованных методик, глубины и объема разработки проблемы суть сделанного открытия была одна, да и ход рассуждений был близким. Ставился вопрос: что будет, если отказаться от пятого постулата, т. е. предположить противное, — пусть через одну точку C , лежащую вне данной прямой AB, проходит не одна, а две (а следовательно, и бесконечно много) параллельных ей прямых? Дальше задача состояла в построении геометрии с новой аксиомой. Расчет был на то, что если пятый постулат представлял собой теорему, то в геометрии с измененным утверждением рано или поздно должно встретиться противоречие, что и будет означать ложность сделанного допущения. Это и было бы доказательством пятого постулата.

Однако, развивая такую геометрию, авторы не только не обнаружили каких-либо противоречий, но, наоборот, довольно быстро убедились, что перед ними разворачивается стройная новая геометрия с рядом интересных своеобразных черт. Оказалось, что в новой геометрии сумма углов треугольников должна быть меньше 180°; более того, эта величина существенно зависит от линейных размеров треугольника. В теории возникает некий параметр с размерностью длины и геометрические свойства систем зависят от отношения к нему их размеров, что

приводит, в частности, к отсутствию подобных фигур. В очень малых областях (по сравнению с этим параметром) новая геометрия практически совпадает с геометрией Евклида, но в больших — они существенно отличаются. Так, например, треугольник достаточно больших размеров может иметь сколь угодно малое значение суммы трех углов. Лобачевский назвал свою геометрию «воображаемой» (или «пангеометрией»); «звездной» или «астральной», назвал ее Швейкарт. Но дело не в названии, а в ее отличии от геометрии Евклида.

Важно отметить, что Лобачевский и Гаусс не ограничились математической стороной сделанного открытия. Они поставили вопрос об отношении новой геометрии к физической реальности, и пытались выяснить, какой геометрией описывается реальное пространство: Евклидовой или новой? Они действовали по принципу — критерием истины является опыт, что в данном случае означало признание пространства самостоятельной физической (метафизической) категорией. Для решения этой задачи Гаусс измерял сумму углов треугольника, образованного тремя горными вершинами, а Лобачевский выбрал значительно больший треугольник — он предпринял астрономические измерения, используя два положения Земли на орбите и далекую звезду, измерял параллаксы звезд. Однако ни измерения Гаусса, ни астрономические наблюдения Лобачевского не дали и, как нам теперь хорошо известно, не могли тогда дать ответ на поставленный вопрос. В литературе неоднократно освещалась история и смысл сделанного ими открытия, поэтому ограничимся некоторыми замечаниями.

Во-первых, новая геометрия представляет собой классический пример открытия, сделанного именно тогда, когда для него созрели необходимые условия. Как правило, к созревшей идее приходит почти одновременно и независимо сразу несколько человек. Поразительно близки даты решения проблемы тремя названными математиками. Н. И. Лобачевский сделал свой знаменитый доклад «О началах геометрии» на заседании Ученого совета физико-математического факультета Казанского университета 23 февраля 1826 года и опубликовал его в 1829 году. Я. Бояи после пяти лет работы напечатал свой труд в виде приложения («Аппендикс») к объемистому тому сочинений своего отца, изданному в 1832 году. Из сохранившейся переписки Гаусса известно, что он пришел к ряду положений новой геометрии также примерно в 20-е годы или чуть раньше. Но и это не все. К идеям неевклидовой геометрии пришел юрист по образованию профессор Ф. К. Швейкарт, преподававший право в Харьковском университете с 1812 по 1816 год и в 1817 году пе-

реехавший в Германию, где и обсуждал свои идеи с Гауссом. В 1824 году подобные идеи в своем письме к Гауссу изложил племянник Швейкарта, тоже юрист Франц Тауринус. Можно назвать и другие имена: Вахтера, де Тилли [73, с. 39].

Во-вторых, при всем различии положений в обществе и стран, где было сделано столь великое открытие, этих ученых роднит одно — почти полное непонимание, даже враждебное отношение со стороны коллег и окружающего их общества. Известно, что занятие Лобачевского неевклидовой геометрией в России воспринималось в лучшем случае как болезненное чудачество, но была и оскорбительно невежественная статья в журнале «Сын отечества», были и многозначительные насмешки даже со стороны именитых коллег. От Лобачевского отвернулись даже ученики, а на его похоронах, когда принято говорить об усопшем только хорошее, не было сказано ни одного слова о главном в его жизни — об открытии первой неевклидовой геометрии.

Известно также, сколько страданий и горьких минут испытал Янош Бояи, пытаясь добиться понимания и признания со стороны коллег. Сбылись пророчества его отца, не встретив понимания, он надорвал свою психику и скончался в 1860 году. «Погребение его походило на ритуал забвения. Лишь три человека проводили останки к безымянной общей могиле, а к записи в реформаторской церкви кто-то приписал „Его жизнь прошла безо всякой пользы“» [73, с. 109].

К. Гаусс, король математики первой половины XIX века, так и не решился публично заявить о своем открытии и в письме Бесселю 1829 года признался: «Вероятно, я еще не скоро смогу обработать свои пространные исследования по этому вопросу, чтобы их можно было опубликовать. Возможно даже, что я не решусь на это во всю свою жизнь, потому что боюсь крика беотийцев, который поднимется, когда я выскажу свои воззрения целиком» [73, с. 64]. В другом месте, в письме Герлингу, Гаусс писал: «Я очень рад, что Вы имеете мужество высказаться так, как будто Вы признаете возможным, что наша теория параллельных линий, а следовательно, и вся наша геометрия ложны. Но осы, гнездо которых Вы разрушаете, подымутся над Вашей головой» [73, с. 63].

Судьбы выдающихся ученых весьма поучительны. Пример Яноши Бояи показывает, что ждет человека, решившегося идти до конца в попытках убедить всех в своей правоте. Другой пример преподал Н. И. Лобачевский, смело и открыто заявивший о сделанном открытии, не изменивший своей точки зрения, несмотря на неприятие открытия его окружением, но сумевший параллельно заниматься другими важными вопро-

сами: он был ректором Казанского университета и много сделал для его развития, выполнил ряд исследований в других разделах математики, создал знаменитую библиотеку Казанского университета и т. д.

Классический пример житейского благоразумия являет собой судьба крупнейшего математика Европы того времени К. Гаусса. Прекрасно осознавая всю глубину переворота в науке (не только в геометрии), произведенного открытием неевклидовой геометрии, и предвидя отношение своих коллег и современников как к самому открытию, так и к тому, кто осмелится выступить в его поддержку, он не опубликовал полученные результаты, но никогда не изменил своим научным идеям.

Несмотря на уверенность в своей правоте, Лобачевскому, Яношу Бояи и другим не удалось найти окончательного доказательства логической непротиворечивости построенной геометрии. Одно дело — отсутствие противоречий в геометрических построениях, даже продвинутых достаточно далеко, их логическая стройность, но совершенно другое — доказательство, что этих противоречий не возникнет в новой теории вообще. Окончательное подтверждение непротиворечивости геометрии Лобачевского было дано лишь в 70-х годах XIX века итальянским геометром Эудженио Бельтрами и немецким математиком Феликсом Клейном. Основная идея доказательства состоит в том, чтобы свести неевклидову геометрию, впервые построенную как планиметрия, к геометрии на трехмерной гиперповерхности постоянной отрицательной кривизны (на трехмерном гиперболоиде) в четырехмерной геометрии Евклида. При этом нужно только заменить понятия прямых (кратчайших линий в мире Евклида) на геодезические линии (экстремальные кривые) на гиперповерхности. Тогда все утверждения относительно прямых в геометрии Лобачевского перейдут в соответствующие утверждения о свойствах таких линий на гиперболоиде. Поскольку невозможно наглядно представить себе гиперболически искривленный трехмерный мир, это можно проиллюстрировать с помощью линий — гипербол на двухмерном гиперболоиде. Так, на рисунке 6.2 пояснено обобщение пятого постулата Евклида. Через точку C, не лежащую на выбранной гиперболе AB, проходят две гиперболы, которые не пересекаются с AB. Следовательно, все другие гиперболы, обозначенные пунктирными линиями, не будут пересекать AB. На рисунке 6.2 изображен треугольник, образованный пересечением трех гипербол. Легко понять, что сумма его углов $\alpha + \beta + \gamma < 180^\circ$.

По указанным причинам первую неевклидову геометрию (геометрию Лобачевского) в литературе часто называют гиперболической. Содер-

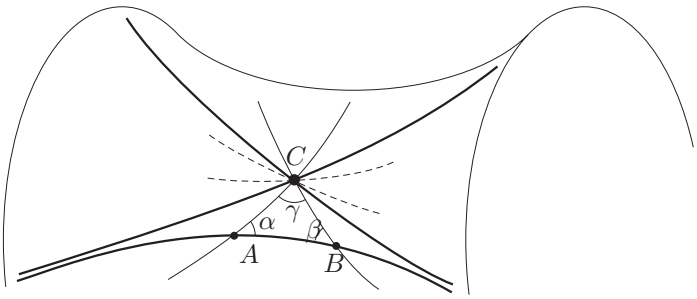

Рис. 6.2. Гиперболическая геометрия Лобачевского

жащийся в геометрии Лобачевского параметр размерности длины имеет геометрический смысл кривизны трехмерного гиперболоида. Теперь легко понять зависимость свойств геометрических фигур от их размера.

6.3. Неевклидова геометрия Римана

Следующий существенный шаг (даже несколько шагов) в цепи идей о геометрии пространства был сделан немецким математиком Бернгардом Риманом в 1854 году. Прежде всего, следует назвать открытый им второй вариант неевклидовой геометрии или «геометрии Римана» в узком смысле. Фактически эта геометрия основана на третьей логической возможности при формулировке пятого постулата и постулата в геометрии Лобачевского, которую не заметили ни Лобачевский, ни Гаусс, ни Бояи. Она состоит в предположении, что через точку C, не лежащую на заданной прямой (геодезической линии) AB, нельзя провести ни одной прямой (геодезической линии), не пересекающей линию AB. Этот вариант неевклидовой геометрии соответствует геометрии на трехмерной гиперсфере в 4-мерном евклидовом пространстве. Самым существенным свойством такого трехмерного пространства является конечность его объема, так что, двигаясь все время в одном направлении, в конце концов можно вернуться в первоначальную точку. Вместо прямых линий евклидова пространства в сферической геометрии Римана выступают геодезические линии — дуги большого радиуса (см. рис. 6.3). Из двумерной аналогии — геометрии на сфере — видно, что понятие параллельных линий, содержащееся в пятом постулате Евклида, в сферической геометрии вообще теряет всякий смысл, ибо любая дуга большого круга, проходящая через точку C, лежащую вне круговой линии AB, обязательно пересекает AB, притом в двух точках. Из рисунка

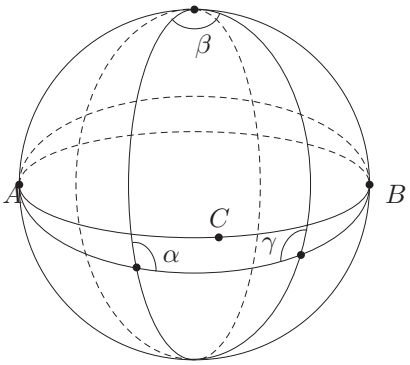

Рис. 6.3. Риманова сферическая геометрия

6.3 также видно, что сумма углов треугольника ABC, образованного пересечением трех дуг большого круга, всегда больше 180°.

К этому следует также добавить, что в сферической геометрии Римана теряет силу первый постулат Евклида — аксиома о том, что через две точки можно провести лишь одну геодезическую (в евклидовой геометрии — прямую). Легко видеть, что через любые две противоположно расположенные точки на сфере, например через два полюса, можно провести бесконечно много различных дуг (окружностей) большого радиуса.

Любопытно, что открытие тогда еще совсем молодого математика нового поколения, пришедшего вслед за поколением Лобачевского и Я. Бояи, было сделано в связи с именем К.Гаусса. Для получения должности приват-доцента в Геттингенском университете Риман должен был прочитать пробную лекцию. Как полагалось установленными тогда правилами, он представил три темы на выбор коллегии факультета. Первые две темы соответствовали проблемам, обсуждавшимся в то время математиками, а третья, не входившая в их число и менее подготовленная в тот момент Риманом, была посвящена основаниям геометрии. Риман не думал, что выбор падет на эту тему. Но, как писал впоследствии немецкий математик В. Вебер, «Гаусс не без умысла выбрал именно данную тему из трех, предложенных Риманом. Он сам признался, что ему страстно хотелось услышать, как такой молодой человек сумеет найти выход из столь трудной игры» [73, с. 148]. И Риман прочитал лекцию, изложенную затем в его знаменитом мемуаре «О гипотезах, лежащих в основании геометрии» [101]. Бытует мнение, что лекция была составлена Риманом в расчете на одного Гаусса. И он достиг своей цели. По окончании лекции Гаусс молча поднялся и тихо побрел к выходу. „Как рассказывал Вебер, «лекция превзошла все ожидания Гаусса». Она привела

его «в состояние наивысшего изумления», и, возвращаясь с заседания факультета, он отозвался о ней с «высшей похвалой» и «с редчайшим для него воодушевлением»“ [73, с. 153].

Что же могло так воодушевить Гаусса? Дело было даже не столько в том, что Риман предложил второй вид неевклидовой геометрии, идя к ней совсем с другой стороны по сравнению с предшественниками. Судя по всему, Риман даже ничего не знал ни о Лобачевском, ни о Я.Бояи и, вероятно, лишь смутно представлял себе интерес Гаусса к данному предмету. Самое главное состоит в том, что он пошел значительно дальше. Риман сумел в своем исследовании объединить две чрезвычайно плодотворные идеи. Во-первых, он использовал развитый Гауссом математический аппарат описания геометрии двумерных кривых поверхностей и, во-вторых, ввел понятие многомерных многообразий («многократно протяженных величин»). Тогда, если поверхность — двукратно протяженная величина, то пространство — трехкратно протяженная, и только в этом разница. Все понятия и методы описания двумерных поверхностей непосредственно переносятся на трехмерные искривленные пространства. А среди этих понятий важнейшее — это метрика — квадратичная форма от разностей координат, характеризующая длину пути между двумя близкими точками в искривленном многообразии. Зная круг интересов Гаусса, можно только недоумевать, почему он сам не догадался сделать это до Римана.

Такой синтез идей позволил Риману далеко шагнуть в построении как частных случаев неевклидовых пространств, так и теории произвольно искривленных пространств. Но предоставим слово Эйнштейну, который писал: «Заслуга Римана в развитии идей о соотношении между геометрией и физикой двояка. Во-первых, он открыл сферическую (эллиптическую) геометрию, которая является антитезой гиперболической геометрии Лобачевского. Таким образом, он впервые указал на возможность геометрического пространства конечной протяженности. Эта идея сразу была воспринята и привела к постановке вопроса о конечности физического пространства. Во-вторых, Риман имел смелость создать геометрии несравненно более общие, чем геометрия Евклида или неевклидовы геометрии в более узком смысле» [101, с. 181].

Но и это не все. Как писал Эйнштейн: «Риман пришел к смелой мысли, что геометрические отношения тел могут быть обусловлены физическими причинами, т. е. силами. Таким образом, путем чисто математических рассуждений он пришел к мысли о неотделимости геометрии от физики: эта мысль нашла свое фактическое осуществление семьдесят лет спустя в общей теории относительности, которая соединила в одно

целое геометрию и теорию тяготения» (цит. по [22, с. 26]). Придя к таким соображениям, Риман еще не мог разглядеть, какие именно физические силы должны быть связаны с неевклидовостью геометрии. Интересно, что он уже размышлял о природе тяготения [102, с. 34], но не привлек для этого свои геометрические идеи.

В мемуаре Римана «О гипотезах, лежащих в основании геометрии» высказан ряд других интересных соображений о пространстве, которые не потеряли своего значения до наших дней и послужили истоком новых направлений мысли. К ним относится, в частности, положение, согласно которому «метрические отношения пространства в бесконечно малом не отвечают геометрическим допущениям», а также мысли о дискретности пространства, о физической подоплеке метрических отношений, о многомерных многообразиях и др.

6.4. Идея Клиффорда о всеобщей геометризации физики

Существенный вклад в развитие идеи о связи физических свойств материи со свойствами искривленного пространства сделал английский математик Вильям Клиффорд. Именно Клиффорду принадлежит первый перевод на английский язык уже упомянутого мемуара Римана. В вышедшей посмертно под редакцией К. Пирсона книге Клиффорда «Здравый смысл точных наук» (1885) [62] четко поставлен вопрос о том, в каком пространстве мы живем: в бесконечном евклидовом или в замкнутом (конечном) сферическом пространстве Римана? Им проанализированы необычные закономерности замкнутого мира и ему же принадлежит известный пример с ползающим по сфере жуком, иллюстрирующий свойства замкнутого мира.

Он, в частности, писал: «Спросим же себя, не можем ли мы подобным же образом рассматривать как изменения физического характера те действия, которые на самом деле обязаны своим происхождением изменениям в кривизне нашего пространства. Не окажется ли, что все или некоторые из причин, которые мы называем физическими, свое начало ведут от геометрического строения нашего пространства». Он высказал предположение, что такими физическими причинами могут быть теплота, свет, электрическое поле. Заметим, что истинная физическая причина искривленности — гравитация (как стало ясно после работ Эйнштейна) — им еще не названа. Однако высказана гипотеза о возможной связи электромагнитного поля и геометрии пространства, так что, по-

видимому, именно Клиффорда следует считать родоначальником идеи геометризации электромагнитного поля.

В трудах В. Клиффорда качественно предвосхищены основные проявления закономерностей созданной значительно позже общей теории относительности. Он писал: «Вот три рода изменений кривизны в пространстве, которые мы должны признать лежащими в пределах возможного:

I. Пространство наше, быть может, действительно обладает кривизной, меняющейся при переходе от одной точки к другой, — кривизной, которую нам не удается определить или потому, что мы знакомы лишь с небольшой частью пространства, или потому, что мы смешиваем незначительные происходящие в нем изменения с переменами в условиях нашего физического существования, последние же мы не связываем с переменами в нашем положении. (...)

II. Наше пространство может быть действительно тождественно во всех своих частях (имеет одинаковую кривизну), но величина его кривизны может изменяться как целое во времени. В таком случае наша геометрия, основанная на тождественности пространства, сохранит свою силу для всех частей пространства, но перемены в кривизне могут произвести в пространстве ряд последовательных видимых изменений.

III. Мы можем мыслить наше пространство как имеющее повсюду приблизительно однородную кривизну, но легкие изменения кривизны могут существовать при переходе от одной точки к другой, в свою очередь изменяясь во времени. Эти изменения кривизны во времени могут произвести явления, которые мы не так уж неестественно приписываем физическим причинам, не зависящим от геометрии нашего пространства» [62, с. 46].

Как видно из приведенного отрывка, Клиффорд значительно более определенно, нежели Риман, ставил вопрос о возможном физическом проявлении искривленности пространства. Как оказалось впоследствии, все отмеченные им три типа изменения кривизны нашли естественное воплощение в общей теории относительности. Так, к первому типу относится, например, искривление пространства (и времени) вокруг гравитирующих тел, в частности вокруг Солнца и Земли. Именно этим искривлением объясняется ньютоновский закон всемирного тяготения. Второй тип по Клиффорду — изменение во времени пространственной кривизны, одинаковой во всех точках, — нашел свою реализацию в космологических моделях Фридмана. Третий тип изменения кривизны в виде ряби на практически плоском фоне может быть сопоставлен с распространением гравитационных волн, экспериментальный поиск кото-

рых продолжался в течение последней трети XX века. Из воспоминаний современников Эйнштейна и сведений его биографов известно, что Эйнштейн был знаком с работами Клиффорда еще в бернский период своей жизни (1902–1909).

Из всего сказанного о следует, что именно Клиффорда следует считать основателем геометрического видения мира, причем в его экстремально законченной форме, претендующей на монистическую парадигму. Он писал: «. . . изменение кривизны пространства — это то, что в действительности происходит при том явлении, которое мы называем движением материи, как весомой, так и эфира; что в физическом мире не имеет места ничего, кроме этого изменения, подчиняющегося (возможно) закону непрерывности» [61, с. 36]. Это не что иное, как выдвижение программы полной геометризации всей материи. Именно в русле идей Клиффорда работает американский физик-теоретик Джон Уилер и его школа, провозгласившие программу построения «массы без массы», «заряда без заряда» и т. д., т. е. получения всех характеристик материи из свойств «пустого» пространства (и времени).

Отметим, что В. Клиффорду принадлежит много известных результатов в математике. Так, для изучения групп движений в геометрии он применил кватернионы — следующее после комплексных чисел обобщение вещественных чисел. В математике и физике XX века широко использовались так называемые алгебры Клиффорда. Напомним, что спиноры и их обобщения в пространственно-временных многообразиях произвольной размерности и сигнатуры вводятся с помощью алгебр Клиффорда.

6.5. Эрнст Мах и геометрия

Идеи неевклидовых геометрий даже в начале XX века представлялись экзотическими и были малоизвестными в сообществе физиков. Господствовала уверенность в евклидовом характере геометрии реального мира и в незыблемости закономерностей ньютоновой механики. Для формирования геометрического миропонимания необходимо было развенчать эти укоренившиеся представления. Сложившуюся ситуацию можно было сравнить с преодолением догм античных воззрений и физики Аристотеля, осуществленном трудами Коперника, Кеплера, Галилея и других выдающихся естествоиспытателей XV–XVII веков, подготовивших почву для создания ньютоновой механики.

На этот раз понадобилось значительно меньше времени. Большую роль в решении этой задачи и в подготовке условий для создания общей

теории относительности сыграл физик, естествоиспытатель и философ Эрнст Мах. Сам Эйнштейн отмечал, что «Мах ясно понимал слабые стороны классической механики и был недалек от того, чтобы прийти к общей теории относительности. И это за полвека до ее создания! Весьма вероятно, что Мах сумел бы создать общую теорию относительности, если бы в то время, когда он еще был молод духом, физиков волновал вопрос о том, как следует понимать скорость света» [149, с. 29].

Более того, роль Маха чрезвычайно велика в становлении всей фундаментальной теоретической физики XX века — как теории относительности, так и квантовой теории. Можно без преувеличения сказать, что он стоял у колыбели трех обсуждаемых здесь миропониманий и произвел глубокий критический анализ ньютоновой физики (механики), обратив внимание на ее слабые стороны и тем самым подготовив почву для исследований во всех трех направлениях.

В своей книге «Механика (Историко-критический очерк ее развития)» Э. Мах писал: «Именно простейшие с виду принципы механики очень сложны; они основаны на незавершенных и даже недоступных полному завершению данных опыта; практически они, правда, достаточно проверены для того, чтобы, принимая во внимание достаточную устойчивость окружающей нас среды, служить основой для математической дедукции, но сами они вовсе не могут рассматриваться как математические истины, а они должны рассматриваться, напротив того, как принципы, не только способные поддаваться непрерывному контролю опыта, но даже нуждающиеся в нем» [80, с. 201].

Мах подробно, шаг за шагом, проанализировал метафизические основания классической механики Ньютона и продемонстрировал условный (идеализированный) характер ее ключевых понятий, таких как масса, абсолютные пространство, время, инерция, сила и другие. Напомним несколько высказываний Маха на этот счет:

«Мы не видим в «количестве материи» представления, которое было бы способно объяснить и иллюстрировать понятие массы, ибо оно само не обладает достаточной ясностью» [80, с. 184].

«Об абсолютном пространстве и абсолютном времени никто ничего сказать не может; это чисто абстрактные вещи, которые на опыте обнаружены быть не могут» [80, с. 195].

«Нет ничего невозможного в том, что на место *элементарных законов*, составляющих содержание современной механики, когда-нибудь займут (употребляя выражение К.Неймана) законы интегральные, что мы непосредственно будем познавать взаимную зависимость *положений* тел. В этом случае *понятие силы* стало бы излишним» [80, с. 222].

Исходя из проведенного анализа, Э. Мах сделал выводы:

1. «Все наши основные принципы механики представляют собою, как это было уже подробно показано, данные опыта об относительных положениях и движениях тел. Не следует и невозможно принимать их без проверки в областях, в которых их в настоящее время признают правильными. Никто не вправе расширять сферы действия этих основных принципов за пределы опыта. Такое расширение даже бессмысленно, ибо никто не сумел бы найти ему применение» [80, с. 194].
2. «Процессы чисто механические представляют собой абстракции, намеренно или по необходимости предпринимаемые в целях более легкого обзора. То же самое можно сказать и об остальных классах физических явлений. Каждый процесс — строго говоря — принадлежит ко всем областям физики, и грани, разделяющие эти последние, объясняются отчасти установившейся традицией, отчасти физиологическими и отчасти историческими причинами» [80, с. 422].
3. «Воззрение, что механику следует рассматривать, как основу всех остальных отраслей физики, и что все физические процессы следует объяснять *механически*, есть, на мой взгляд, предрассудок. (...) По мере того, как становится известным и упорядоченным все большее и большее количество фактов, могут устанавливаться и совершенно новые руководящие воззрения. В настоящее время мы даже знать не можем, какие из физических явлений идут *всего глубже*, не следует ли считать явления механические именно наиболее поверхностными или лежат ли они все *равно глубоко*» [80, с. 422].
4. «Было бы ошибочно думать, что великий и широкий взгляд был внесен в естествознание только механическим воззрением на природу. Нет, такой взгляд был достоянием первых исследователей всех времен и содействовал уже построению механики и, следовательно, не мог возникнуть лишь *через* эту последнюю. Галилей и Гюйгенс постоянно переходили от рассмотрения единичного к рассмотрению великого целого и обратно и пришли к своим великим результатам в своем стремлении к точке зрения простой и свободной от противоречий» [80, с. 425].
5. «Средствам мышления физики, понятиям массы, силы, атома, вся задача которых заключается только в том, чтобы побудить в нашем представлении экономно упорядоченный опыт, большинством естествоиспытателей приписывается реальность, выходящая за пределы мышления. Более того, полагают, что эти силы и массы представляют то настоящее, что подлежит исследованию, и если бы они стали

известны, все остальное получилось бы само собою из равновесия и движения этих масс. (...) Мы не должны считать *основами* действительного мира те интеллектуальные вспомогательные средства, которыми мы пользуемся для *постановки* мира *на сцене нашего мышления*» [80, с. 432].

Сейчас эти слова Маха можно с полным основанием отнести ко многим другим понятиям, имеющим ключевой характер как в геометрическом, так и в физическом миропониманиях. Таковыми являются, например, понятия волновой функции и амплитуды вероятности, ароматические и хроматические внутренние пространства элементарных частиц и т. д.

В поле зрения Э. Маха находились и идеи о возможном неевклидовом характере физического пространства. Уже в 1903 году, в самом преддверии создания теории относительности, в своей статье «Пространство и геометрия с точки зрения естествознания» он дал глубокий анализ математических и физических аспектов развития представлений о геометрии пространства, подробно и обстоятельно охарактеризовал достижения Лобачевского, Я. Бояи, Римана, Гаусса и других. При этом он исходил из того, что «геометрия есть применение математики к опыту относительно пространства». Здесь он написал пророческие слова: «Все развитие, приведшее к перевороту в понимании геометрии, следует признать за здоровое и сильное движение. Подготавливаемое столетиями, значительно усилившееся в наши дни, оно никоим образом не может считаться уже законченным. Напротив, следует ожидать, что движение это принесет еще богатейшие плоды — и именно в смысле теории познания — не только для математики и геометрии, но и для других наук. Будучи обязано, правда, мощным толчкам некоторых отдельных выдающихся людей, оно, однако, возникло не из индивидуальных, но общих потребностей! Это видно уже из одного разнообразия профессий людей, которые приняли участие в движении. Не только математики, но и философы, и дидактики внесли свою долю в эти исследования. И пути, проложенные различными исследователями, близко соприкасаются» [79, с. 419].

Знаменательно, что Эйнштейн на самом активном этапе своего научного творчества находился под большим влиянием идей Маха. Создавая общую теорию относительности, он был в полной уверенности, что работает над реализацией идей Маха. Известно также, что Эйнштейн мало кого цитировал, а ссылки на Маха содержатся в большинстве его работ того периода.

Следует несколько слов сказать о судьбе самого Маха и его трудов. В 1898 году у него случился инсульт, и около 20 последних лет он творил наполовину парализованным. В таком состоянии он написал свои известные книги «Познание и заблуждения» и «Оптика».

В пылу борьбы со своими политическими противниками, симпатизировавшими идеям Маха, В. И. Ленин в своей книге «Материализм и эмпириокритицизм» обрушился на их автора, что послужило серьезным основанием для гонений в нашей стране на всех приверженцев трудов Маха на протяжении большей части XX века[1]. Многие труды ученого в странах социалистического лагеря были уничтожены, в свет выходили лишь публикации о Махе критического характера.

Что же касается критики взглядов самого Маха на суть пространства, времени, на размерность пространства, материю и на другие ключевые элементы картины мира, то время уже многое расставило по своим местам. Но лучше всего сказал по аналогичному поводу сам Мах: «Но что нам сказать о той суровой придирчивой критике, которой подверглись мысли Гаусса, Римана и их товарищей со стороны людей, занимающих выдающееся положение в науке? Неужели им на себе самих не пришлось никогда испытать того, что исследователь на крайних границах знания находит часто то, что не может быть гладко и немедленно усвоено каждым умом и что тем не менее далеко не бессмысленно? Конечно, и такие исследователи могут впадать в ошибки. Но ошибки иных людей бывают нередко по своим последствиям плодотворнее, чем открытия других» [79, с. 418].

Заслуги Э. Маха не исчерпываются подготовкой почвы для создания теории относительности и квантовой теории. Он, как и Б. Риман, и В. Клиффорд, высказал ряд идей, способствовавших развитию других

[1] Во время подготовки в Чехословакии празднования 150-летия со дня рождения Э. Маха выяснились любопытные остоятельства, связанные с памятной доской на доме в пригороде Брно (ныне Чехия), где он родился. Эта доска была помещена на фасаде дома в 1938 году в связи с празднованием 100-летней годовщины со дня рождения великого ученого. Во время оккупации Чехословакии фашистской Германией выяснилось, что новым властям память о Махе была неугодна. Доска была снята и водружена на место лишь в 1945 году. Но после провозглашения в стране социализма прокоммунистические власти опять приказали убрать мемориальную доску, и некоторое время спустя ее видели в куче мусора недалеко от дома. Потом она исчезла. Все поиски доски в канун празднования 150-летия со дня рождения Маха не привели к успеху, и была изготовлена и установлена новая мемориальная доска. Возвращаясь к вопросу соотношения физики (науки) и политики, любопытно отметить, что научные идеи Маха оказались неугодными как фашистским, так и социалистическим режимам.

новых направлений в фундаментальной теоретической физике. Некоторые из них не потеряли актуальности и по сей день. О его вкладе в исследования многомерных геометрических моделей физических взаимодействий, а также в развитие теории прямого межчастичного взаимодействия (реляционного видения мира) будет сказано в последующих главах.

6.6. Конвенционализм А. Пуанкаре

Неким диссонансом к взглядам Н. И. Лобачевского, К. Гаусса и В. Клиффорда на неевклидовы геометрии прозвучали соображения, высказанные французским математиком, физиком и философом Анри Пуанкаре. Если первые ставили вопрос, какой геометрией описывается реальный мир, то Пуанкаре заявил, что неважно, какую геометрию использовать для описания мира, — выбор геометрии определяется лишь соображениями удобства. В своей работе «Наука и гипотеза» (1902 г.) он писал: «Если мы теперь обратимся к вопросу, является ли евклидова геометрия истинной, то найдем, что он не имеет смысла. Это было бы все равно, что спрашивать, какая система истинна — метрическая или же система со старинными мерами, или какие координаты вернее — декартовы или же полярные. Никакая геометрия не может быть более истинна, чем другая; та или иная геометрия может быть только *более удобной*. И вот, евклидова геометрия есть и всегда будет наиболее удобной по следующим причинам:

1. Она проще других; притом она является таковой не только вследствие наших умственных привычек, не вследствие какой-то, я не знаю, непосредственной интуиции, которая нам свойственна по отношению к евклидову пространству; она наиболее проста и сама по себе, подобно тому как многочлен первой степени проще многочлена второй степени; формулы сферической тригонометрии сложнее формул прямолинейной тригонометрии, и они показались бы еще более сложными для аналитика, который не был бы знаком с геометрическими обозначениями.

2. Она в достаточной степени согласуется со свойствами реальных твердых тел, к которым приближаются части нашего организма и наш глаз и на свойстве которых мы строим наши измерительные приборы» [95, с. 41].

Позиция Пуанкаре определялась тем, что он в своих рассуждениях опирался главным образом *лишь на две из трех ключевых физических категорий: частиц и пространства-времени*. Так, он считал, что «если бы не было твердых тел в природе, не было бы и геометрии» [95, с. 48].

Даже когда он рассматривал свет, то имел в виду лишь его корпускулярные свойства — воспринимал его как материальные истоки представлений о прямых линиях.

Он подчеркивал, что *пространство и геометрия являются идеальными конструкциями*, совокупностью удобных соглашений, порожденных опытом и формой мышления. Он писал: «Мы видим, что опыт играет необходимую роль в происхождении геометрии; но было бы ошибкой заключить, что геометрия — хотя бы отчасти — является экспериментальной наукой. Если бы она была экспериментальной наукой, она имела бы только временное, приближенное — и весьма грубо приближенное! — значение. Она была бы только наукой о движении твердых тел. Но на самом деле она не занимается реальными твердыми телами; она имеет своим предметом некие идеальные тела, абсолютно неизменные, которые являются только упрощенным и очень удаленным отображением реальных тел. Понятие об этих идеальных телах целиком извлечено нами из недр нашего духа, и опыт представляет только повод, побуждающий нас его использовать. Предмет геометрии составляет изучение лишь частной «группы» перемещений, но общее понятие группы существует раньше в нашем уме (dans notre esprit), по крайней мере в виде возможности. Оно присуще нам не как форма нашего восприятия, а как форма нашей способности суждений» [95, с. 53].

Пуанкаре настаивал на том, что «опыты относятся не к пространству, а к телам» [85, с. 60]. Отсюда следовало, что любой опыт можно интерпретировать двояко: либо через проявления свойств пространства, либо через особые закономерности поведения тел. Отсюда он делал вывод: «Поскольку невозможно указать конкретный опыт, который мог бы быть истолкован в евклидовой системе и не мог бы быть истолкован в системе Лобачевского, то я могу заключить: никогда никакой опыт не окажется в противоречии с постулатом Евклида, но зато и никакой опыт не будет никогда в противоречии с постулатом Лобачевского» [85, с. 55].

Точно так же он трактовал проекты астрономических экспериментов, предлагавшихся Лобачевским и другими: «Если справедлива геометрия Лобачевского, то параллакс очень удаленной звезды будет конечным; если справедлива геометрия Римана, то он будет отрицательным. Эти результаты, по-видимому, допускают опытную проверку: можно было надеяться, что астрономические наблюдения могут решить выбор между тремя геометриями. Но то, что в астрономии называется прямой линией, есть просто траектория светового луча. Если, следовательно, сверх ожидания, удалось бы открыть отрицательные параллаксы или доказать, что все параллаксы больше известного предела, то представ-

лялся бы выбор между двумя заключениями: мы могли бы или отказаться от евклидовой геометрии, или изменить законы оптики и допустить, что свет распространяется не в точности по прямой линии. Бесполезно добавлять, что всякий счел бы второе решение более удобным. Таким образом, евклидовой геометрии нечего опасаться новых опытов» [85, с. 54].

Отметим, что вскоре астрономы обнаружили отрицательные параллаксы ряда звезд, но все оказалось сложнее. Из двух альтернатив, указанных Пуанкаре, физики избрали не самую простую евклидову геометрию, а вариант движения света вдоль геодезических линий в еще более общей римановой геометрии.

Основной недостаток в рассуждениях Пуанкаре состоял в игнорировании им третьей ключевой физической категории — полей переносчиков взаимодействий, а точнее — гравитационного поля, а именно в этом, во включении физических полей в геометрию пространства-времени состоит главное в геометрическом миропонимании. К сожалению, А.Пуанкаре не дожил до открытия общей теории относительности, хотя и содействовал этому, во-первых, в виде вклада в создание специальной теории относительности и, во-вторых, в его более поздних работах уже была рассмотрена теория гравитационного поля в пространстве-времени Минковского. Гравитация и теория относительности (пока лишь специальная) уже были поставлены рядом.

В философской литературе взгляды Пуанкаре о принципиальной равноценности евклидовой и неевклидовых геометрий и о выборе одной из них по соображениям удобства называют конвенционалистскими. Отметим, что подобным образом можно было бы относиться и к трем миропониманиям: физическому, геометрическому и реляционному, — считать, что выбор того или иного из них является делом вкуса или удобства исследователя. Однако в нашем подходе предлагается иное их понимание — через дополнительность. Разные миропонимания позволяют разглядеть дополняющие друг друга закономерности (стороны) единого мироздания и на этой основе шагнуть дальше. Можно выбирать промежуточный путь из соображений удобства или личного пристрастия исследователя, но не следует забывать об общей нацеленности всех путей на построение единой монистической парадигмы.

6.7. Принцип эквивалентности и геометрия

До сих пор речь шла о геометрических идеях, о логических основаниях, приведших к созданию общей теории относительности. Но, оказывается, с давних времен имелись достаточно серьезные опытные данные,

для осмысления которых как раз и не хватало идеи об искривленности пространства (-времени). Так, уже после экспериментов Галилея с падающими телами с Пизанской башни стало известно, что все тела в поле тяжести Земли падают одинаково независимо от их индивидуальных свойств (массы, вещества, формы и т. д.). Затем это нашло свое воплощение в законах механики Ньютона и закона всемирного тяготения. Напомним, из второго закона Ньютона для падающих тел в гравитационном поле Земли следует

$$gm = G\frac{mM}{R^2} \to g = G\frac{M}{R^2}, \tag{6.7.1}$$

где m — масса тела, M — масса Земли, R — расстояние до центра Земли. Следовательно, уже тогда напрашивался вывод, что приобретаемое телами ускорение g зависит лишь от той точки пространства (от расстояния R), где они оказались. Уже можно было поставить вопрос: нельзя ли характеристику притяжения (получаемое телами ускорение) связать не с самими телами, а с соответствующим местом пространства, где они находятся? Заметим, что эта идея была созвучна еще не забытым тогда взглядам Аристотеля, наделявшего не только тела, но и места некими динамическими свойствами. Напомним его слова: «Перемещения простых физических тел, например, огня, земли и подобных им, показывает, что место есть не только нечто, но что оно имеет и какую-то силу».

Но как можно было реализовать эту идею в рамках представлений об евклидовом пространстве? Ведь евклидово пространство и даже плоское пространство-время Минковского чрезвычайно бедны по своим свойствам. Пространство однородно, т. е. одинаково во всех точках, и изотропно — одинаково по всем направлениям. Лишь после освоения физиками идеи об искривленности пространства (и времени), когда появились представления о пространстве, по-разному искривленному в различных местах, возникла возможность ответить на данный вопрос. Ускорение можно связать с характеристиками искривленности пространства, а линии, по которым движутся тела, приобретают характер универсальных кривых в пространстве (-времени). Последние можно отождествить с экстремальными линиями — геодезическими. Напомним, что в евклидовой геометрии это прямые линии, в геометрии Лобачевского — гиперболы, в сферической геометрии Римана — дуги большого радиуса, а в произвольно искривленном мире это более сложные кривые линии. Эта идея и была реализована в общей теории относительности Эйнштейна.

Следует остановиться на вопросе о смысле массы тела, сокращенной в (6.7.1). С одной стороны, массу можно определить, измеряя силу

притяжения данного тела к некоторому эталонному. Полученная таким образом величина характеризует гравитационный заряд тела — его способность притягиваться к другому телу. Эта так называемая *гравитационная (тяжелая) масса* m_{gr} записана в правой части уравнения (6.7.1). С другой стороны, массу можно определить из второго закона Ньютона, измеряя ускорение, которое приобретает тело под действием заданной эталонной силы. Получаемая таким образом величина характеризует инертные свойства тела — способность тела сохранять свою скорость. Эту величину, стоящую в левой части (6.7.1), называют *инертной массой* m_{in}. Эти две массы сокращены слева и справа фактически на основании постулата об их равенстве. Вообще говоря, достаточно факта пропорциональности масс с неким универсальным коэффициентом пропорциональности. Однако этот коэффициент можно включить в определение гравитационной постоянной G и в дальнейшем уже говорить о равенстве двух типов масс. Факт равенства масс был назван Эйнштейном *принципом эквивалентности*. Сейчас его принято называть *слабым* принципом эквивалентности. Таким образом, первые эксперименты по принципу эквивалентности были произведены Галилеем. Кроме того, как рассказывают, он же обратил внимание на связь закономерностей с колебаниями люстр в соборе и одинаковым падением тел разного состава. Первая количественная проверка этого принципа была проведена Ньютоном, который сравнивал процессы колебаний двух маятников. Их грузы, сделанные из разных веществ, но обладавшие разным весом, помещались в центры тяжести одинаковых деревянных ящичков (чтобы уравнять аэродинамические свойства обоих маятников), и велось наблюдение за колебаниями этих систем. Ньютон доказал, что периоды колебаний маятников не зависят от значений масс и материала. Именно на основании этих экспериментов и опытов Галилея Ньютон отождествил гравитационную и инертную массы. Следует отметить, что точность экспериментов Галилея и Ньютона была незначительной.

В дальнейшем эксперименты по проверке принципа эквивалентности неоднократно повторялись и совершенствовались. Следует особо отметить эксперименты группы Роланда Этвеша, проводившиеся с 1886 по 1908 год. В них было установлено равенство инертной и тяготеющей масс с относительной точностью 10^{-8}. Уточнение этого результата продолжалось и в последующие годы. Здесь нужно назвать эксперименты 1964 года Р. Дикке, достигшего точности $3 \cdot 10^{-11}$, и эксперименты В. Б. Брагинского 1971 года на физическом факультете МГУ, улучшившие результат до $0,9 \cdot 10^{-12}$.

Принято различать слабый, обсужденный выше, и сильный принципы эквивалентности. *Сильный принцип эквивалентности* утверждает, что в свободно падающей лаборатории при проведении локальных экспериментов физические законы, включая все численные результаты, проявляются одинаково независимо от места их проведения. Здесь не будем углубляться в массу тонкостей, связанных с подтверждением как слабого, так и сильного принципов эквивалентности. Отметим лишь, что пока не было найдено отклонений от этих принципов.

Глава 7

Идеи и выводы общей теории относительности

Открытие общей теория относительности в начале XX века означало появление новой метафизической парадигмы, в которой поля переносчиков взаимодействий уже не самостоятельные понятия (категории), вносимые извне в априорное пространство-время, а проявления геометрических свойств искривленного (закрученного, многомерного и т. д.) пространства-времени. Геометрическое миропонимание предстало как альтернативный подход к описанию физической реальности со своими методами, специфическими задачами и проблемами. Гравитационное взаимодействие оказалось первым, которое удалось связать с геометрией (с метрикой), и вслед за ним наступила очередь геометризации других взаимодействий. Вместе с тем была открыта новая эра в истории учения о пространстве-времени и природе физических взаимодействий.

С созданием общей теории относительности некоторые философские и религиозные (точнее, богословские) проблемы стали предметом изучения физики. Среди них следует назвать вопросы конечности или бесконечности мира, его начала и конца и многие другие. Качественно изменилось место физики среди других разделов науки и культуры: философии, математики, религии.

В период, когда господствующей была идеология диалектического материализма, трудно было втиснуть содержание общей теории относительности в прокрустово ложе ее понятий. С чем имеет дело теория гравитации: с новым видом (гравитационной) материи или с формой ее существования? С одной стороны, гравитация многими трактуется как поле, значит является материей, а, с другой стороны, нет поля как отдельной сущности, вложенной в пространство-время, поскольку гравитация описывается характеристиками формы существования материи. В философии диалектического материализма третьего было не дано.

В 1964 году в Киеве на Всесоюзном симпозиуме «Философские проблемы теории тяготения Эйнштейна и релятивистской космологии» раз-

вернулась характерная для того времени дискуссия между ведущими тогда советскими гравитационистами, которые пытались рассуждать в рамках господствующей идеологии. Так, профессор А. З. Петров утверждал: «Поле гравитации — это особый вид материи и потому она, как таковая, проявляет себя в движении и не может двигаться иначе, как в пространстве-времени» [91]. Профессор М. Ф. Широков ему возражал: «С философской точки зрения поля тяготения и инерции, как проявления геометрических свойств пространства и времени, следует считать формами существования материи, а не материей» [139]. А профессор Д. Д. Иваненко заявил, что гравитация — частично новый вид материи, а частично — форма существования материи [54].

Все бы встало на свои места, если бы допустили существование не двух категорий (материи и формы ее существования), а трех начал, два из которых в общей теории относительности объединены в новую категорию искривленного пространства-времени.

7.1. Сущность общей теории относительности

В результате исследований неевклидовых (римановых) геометрий рядом выдающихся геометров был подготовлен математический аппарат для создания общей теории относительности. Не хватало двух факторов. Прежде всего, необходимо было объединить 3-мерное пространство и 1-мерное время в единое 4-мерное пространственно-временное многообразие, что было сделано в самом начале XX века в специальной теории относительности. Этот вопрос рассмотрен во второй главе.

Во-вторых, необходимо было поставить рядом гравитацию и идею об искривленности пространства-времени, что было сделано вскоре после создания специальной теории относительности. Так, в статье А. Пуанкаре 1906 года «О динамике электрона» [94] уже наряду с электромагнитным было проанализировано и гравитационное взаимодействие в рамках специальной теории относительности, т. е. гравитация была поставлена рядом со свойствами пространства-времени. Вскоре к обсуждению этого вопроса присоединился и Альберт Эйнштейн, опубликовавший в 1907 году статью «О принципе относительности и его следствиях», где, во-первых, тяготение рассматривалось с учетом принципа относительности и, во-вторых, отмечалась связь гравитации с силами инерции в ускоренных системах отсчета, т. е. учитывался принцип эквивалентности.

Затем последовал период мучительного формирования самой общей теории относительности. На этом пути чрезвычайно важным шагом явился выход в 1913 году совместной статьи А. Эйнштейна с из-

вестным математиком Марселем Гроссманом «Проект обобщенной теории относительности и теории тяготения» [142], где было сказано самое важное: гравитационное взаимодействие обусловлено искривленностью 4-мерного пространства-времени. Из этой статьи очевидно, что А. Эйнштейн искал математический аппарат, позволяющий связать гравитацию с геометрией, но в тот момент он еще не располагал нужными знаниями в области уже развитой к тому времени римановой геометрии. Освоить нужную математику ему помог М. Гроссман, с которым он дружил со студенческих лет. Статья состояла из двух частей: первая, физическая, была написана А. Эйнштейном, тогда как вторая, математическая, принадлежала перу Гроссмана, который подробно излагал основы аппарата дифференциальной геометрии, вводил метрику и разъяснял другие геометрические понятия, использованные Эйнштейном в первой части. После выхода в свет этой статьи самое главное было сделано, все остальное, можно сказать, представляло собой техническую (математическую) часть доработки теории, завершенную на рубеже 1915 и 1916 годов, когда почти одновременно А. Эйнштейном и Давидом Гильбертом были записаны уравнения (Эйнштейна) для гравитационного поля.

Суть этих уравнений состоит в установлении связи характеристик искривленного пространства-времени (геометрии) со свойствами находящейся в нем материи. Конечно, это было еще далеко не все. Предстояло научиться решать очень сложную систему из 10 нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка, начав с отдельных решений для наиболее интересных частных случаев. Нужно было осмыслить их и изучить возможные физические эффекты, подтверждающие общую теорию относительности. Решением этих и ряда других проблем физики-теоретики и математики занимались в течение всего XX века.

Напомним, как понимал общую теорию относительности сам ее создатель А. Эйнштейн. В своей статье 1919 года «Принципиальное содержание общей теории относительности» он писал: «Теория, как мне кажется сегодня, покоится на трех основных положениях, которые ни в какой степени не зависят друг от друга. Ниже они будут коротко сформулированы, а в дальнейшем освещены с некоторых сторон.

а) *Принцип относительности:* законы природы являются лишь высказываниями о пространственно-временных совпадениях; поэтому они находят свое естественное выражение в общековариантных уравнениях.

б) *Принцип эквивалентности:* инерция и тяжесть тождественны; отсюда и из результатов специальной теории относительности неизбежно

следует, что симметричный «фундаментальный тензор» ($g_{\mu\nu}$) определяет метрические свойства пространства, движение тел по инерции в нем, а также и действие гравитации. Описываемое фундаментальным тензором состояние пространства мы будем обозначать как «G-поле».

в) *Принцип Маха:* G-поле *полностью* определено массами тел.» [143, с. 613].

Впоследствии время внесло коррективы в понимание сущности общей теории относительности. Изменились взгляды и самого Эйнштейна, в частности, вскоре он стал смотреть иначе на роль принципа Маха. Отметим также, что сформулированные тогда принципы в значительной степени отражали путь, по которому он шел, создавая теорию. Когда же теория была построена, на ее содержание уже можно было смотреть и под иными углами зрения. Процессс осмысления общей теории относительности, всесторонний анализ ее оснований продолжался в течение всего XX века. Так, в середине XX века известный физик-гравитационист Дж. Синг, выступая на международной гравитационной конференции, заявил: «Сколько людей занимается общей теорией относительности, столько имеется и ее пониманий».

7.2. Ключевые понятия общей теории относительности

Выдающийся российский физик-теоретик В. А. Фок несколько иначе смотрел на суть общей теории относительности: «Истинной логической основой теории тяготения Эйнштейна является не идея общей относительности и не принцип эквивалентности, а другие две идеи, именно: идея объединения пространства и времени в единое хроногеометрическое многообразие с индефинитной метрикой (эта идея была осуществлена Эйнштейном уже в его теории 1905 г. — в «частной» теории относительности) и отказ от «жесткости» метрики, позволивший связать ее с явлением тяготения, а тем самым и с весомой материей (уравнения тяготения Эйнштейна). Идеи же общей ковариантности уравнений (так называемая общая относительность) и кинематического толкования тяготения (так называемая эквивалентность) сыграли лишь эвристическую роль» [124]. По справедливому мнению В. А. Фока, эти два принципа послужили своего рода «строительными лесами» или «повивальной бабкой» при создании общей теории относительности. Попробуем с минимальным использованием математики расшифровать сказанное

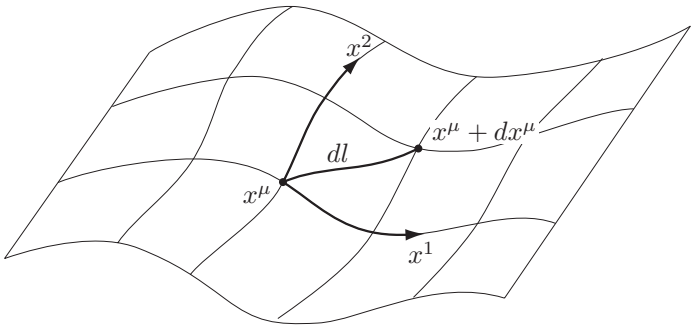

Рис. 7.1. Смещения на 2-мерной искривленной поверхности, где заданы криволинейные координаты

В. А. Фоком и одновременно обсудить основные понятия и уравнения общей теории относительности.

Компоненты метрического тензора. Самым главным понятием в общей теории относительности и во всей физике является *метрика*, т. е. вещественное число, которое сопоставляется с двумя точками (событиями). В геометрии Евклида — это квадрат расстояния между точками, в теории относительности — это квадрат интервала между двумя событиями. Как это ни странно, на первый взгляд, но на суть общей теории относительности и всей геометрической картины мира можно посмотреть как на обобщения теоремы Пифагора, причем по двум каналам: а) увеличению размерности и б) переходу к искривленным многообразиям.

1а. Начнем с теоремы Пифагора на плоскости (в 2-мерном плоском пространстве)

$$l^2 = (x^1)^2 + (x^2)^2, \tag{7.2.1}$$

где x^1 и x^2 — длины двух катетов, или, что одно и то же, разности декартовых координат двух рассматриваемых точек.

1б. В предыдущей главе уже упоминалось, что еще в первой половине XIX века К.Гауссом была разработана теория 2-мерных искривленных поверхностей, на которых уже невозможно определить прямолинейные декартовы координаты. Суть теории Гаусса состояла в том, что, во-первых, теперь расстояния нужно задавать между двумя *близкими* точками на поверхности (см. рис. 7.1) и, во-вторых, в определение квадрата расстояния нужно ввести коорективы, так что формула (7.2.1) принимает вид

$$dl^2 = g_{11}(dx^1)^2 + g_{22}(dx^2)^2 + 2g_{12}dx^1dx^2, \tag{7.2.2}$$

где коэффициенты $g_{\xi\eta}(x)$ — функции криволинейных координат на искривленной 2-мерной поверхности. Расстояние между произвольными двумя точками следует определять в виде интеграла вдоль кратчайшей или вдоль какой-то другой кривой, соединяющей две точки.

2а. В 3-мерном евклидовом пространстве квадрат расстояния между двумя точками определяется посредством увеличения на одну координату формулы (теоремы Пифагора) (7.2.1):

$$l^2 = (x^1)^2 + (x^2)^2 + (x^3)^2. \tag{7.2.3}$$

Трудно сказать, кем впервые это было сделано. Известно лишь то, что такая формула писалась Декартом.

2б. Обобщение формулы (7.2.3) на случай искривленных 3-мерных пространств было сделано Б.Риманом в лекции, столь воодушевившей Гаусса. Как уже отмечалось, молодой ученый использовал развитый Гауссом математический аппарат описания геометрии 2-мерных кривых поверхностей и ввел понятие «многократно протяженных величин», означающее, что пространство — всего лишь трехкратно протяженная величина, для которой подходят методы описания 2-кратно протяженных величин, т. е. квадрат длины между двумя близкими точками в искривленном пространстве должен иметь вид, аналогичный (7.2.2):

$$dl^2 = \sum_{i=1}^{3}\sum_{k=1}^{3} g_{ik}dx^i dx^k \equiv g_{ik}dx^i dx^k, \tag{7.2.4}$$

где $g_{ik}(x)$ опять коэффициенты — компоненты метрики, зависящие от трех координат. Здесь и в дальнейшем знак суммирования писать не будем, так как принято использовать правило: по двум одинаковым индексам (сверху и снизу) подразумевается суммирование, — в данном случае от 1 до 3.

3а. Согласно специальной теории относительности, пространство и время образуют единое 4-мерное многообразие. Теперь ключевым выражением является квадрат интервала s^2 между двумя событиями (2.3.3), который представляет собой обобщение теоремы Пифагора еще на одно измерение и псевдоевклидову сигнатуру:

$$s^2 = (ct)^2 - l^2 \equiv (x^0)^2 - (x^1)^2 - (x^2)^2 - (x^3)^2 \equiv \eta_{\mu\nu}x^\mu x^\nu, \tag{7.2.5}$$

где $t = x^0/c$ — разность времен между двумя событиями, остальные обозначения прежние.

3б. В упомянутой выше работе Эйнштейна и Гроссмана была записана формула для квадрата интервала в 4-мерном искривленном пространстве-времени

$$ds^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu. \tag{7.2.6}$$

Здесь и далее греческие индексы пробегают четыре значения: 0, 1, 2, 3, по которым подразумевается суммирование. Очевидно, что эта формула обобщает метрику (7.2.5) в специальной теории относительности. Ключевую роль в общей теории относительности играют коэффициенты $g_{\mu\nu}$ — компоненты 4-мерного метрического тензора. Очевидно, что из-за симметрии индексов $g_{\mu\nu} = g_{\nu\mu}$ различных компонент будет только 10. Выпишем их в виде квадратной 4×4-матрицы (слева)

$$g_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} g_{00} & g_{01} & g_{02} & g_{03} \\ g_{10} & g_{11} & g_{12} & g_{13} \\ g_{20} & g_{21} & g_{22} & g_{23} \\ g_{30} & g_{31} & g_{32} & g_{33} \end{pmatrix} \to \eta_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} +1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}. \tag{7.2.7}$$

В самом общем случае различными следует считать 4 диагональных слагаемых и 6 слагаемых, расположенных над диагональю. Шесть компонент под диагональю совпадают с соответствующими компонентами над диагональю. В правой части записаны компоненты 4-мерной метрики (7.2.5) в пространстве-времени Минковского (в декартовых координатах).

Одному скалярному потенциалу φ ньютоновой теории гравитации в эйнштейновской теории соответствуют 10 компонент $g_{\mu\nu}$ — своеобразных гравитационных потенциалов, которые образуют основной строительный материал общей теории относительности.

Уравнения геодезических линий и символы Кристоффеля. В общей теории относительности важную роль играют уравнения геодезических (т. е. экстремальных) линий, о которых говорилось в предыдущей главе. В евклидовой геометрии ими являются прямые линии, в геометрии Лобачевского — это гиперболы, изображенные на рисунке 6.2, а в геометрии Римана (постоянной положительной кривизны) — это дуги больших кругов на рисунке 6.3. Запишем уравнения этих линий в самом общем виде

$$\frac{d^2 x^\mu}{ds^2} = -\Gamma^\mu_{\alpha\beta} \frac{dx^\alpha}{ds} \frac{dx^\beta}{ds}, \tag{7.2.8}$$

где слева стоит релятивистское ускорение тела (вместо времени выступает интервал), а справа входят квадратично 4-мерные скорости и коэффициенты $\Gamma^\mu_{\alpha\beta}$ — так называемые *коэффициенты связности*, или *символы*

Кристоффеля, представляющие собой комбинации из первых производных от метрического тензора[1]. В теории показывается, что все тела в отсутствие внешних сил движутся по геодезическим линиям. В согласии с принципом эквивалентности в эти уравнения не входят массы тел, т. е. все тела движутся одинаковым образом, как это и наблюдал Галилей в опытах по их падению с Пизанской башни.

Тензор кривизны и уравнения Эйнштейна. Важную роль в теории играют вторые производные от компонент метрического тензора по координатам. Так уж устроен наш мир, что основные уравнения физики являются дифференциальными уравнениями второго порядка. В геометрии Римана имеется характерная комбинация из вторых производных от метрического тензора, называемая *тензором кривизны*, или *тензором кривизны Римана—Кристоффеля* $R^{\mu}_{\cdot\nu\alpha\beta}$. Кривизна характеризует изменение компонент векторов и тензоров при их параллельном переносе по замкнутому контуру.

Уравнения Эйнштейна записываются через компоненты тензора кривизны (точнее, тензора кривизны Риччи $R_{\mu\nu} = R^{\alpha}_{\mu\alpha\nu}$) и характеризуют зависимость кривизны от распределения в пространстве-времени материи. Не вникая в математические тонкости, выпишем их в общепринятом виде

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = \varkappa T_{\mu\nu} \to [\text{Геометрия}] = \varkappa [\text{Физическая материя}], \qquad (7.2.9)$$

где $R = R_{\mu\nu} g^{\mu\nu}$ — так называемая *скалярная кривизна*, а величина справа $T_{\mu\nu}$ — тензор энергии-импульса всей негеометризованной материи. Коэффициент $\varkappa = 8\pi G/c^4$ — эйнштейновская гравитационная постоянная, выраженная через G, ньютоновскую гравитационную постоянную, и скорость света c — связывает между собой геометрические и физические величины разной (физической) размерности.

В правой части (7.2.9) приведена символическая запись уравнений Эйнштейна, отражающая смысл этих уравнений, связь обобщенной категории искривленного пространства-времени (полученной слиянием двух категорий плоского пространства-времени и гравитационного поля) с оставшейся третьей физической категорией частиц (с негеометризованной материей).

[1] В римановой геометрии символы Кристоффеля следующим образом записываются через компоненты метрического тензора:

$$\Gamma^{\mu}_{\alpha\beta} = \frac{g^{\mu\nu}}{2} \left(\frac{\partial g_{\alpha\nu}}{\partial x^{\beta}} + \frac{\partial g_{\beta\nu}}{\partial x^{\alpha}} - \frac{\partial g_{\alpha\beta}}{\partial x^{\nu}} \right).$$

Возвращаясь к конвенционалистским взглядам на геометрию А. Пуанкаре, следует сказать, что в общем случае сохраняется право выбора между 1) описанием движения тел с помощью неких усложненных (подправленных) уравнений Ньютона в плоском пространстве-времени, что соответствует физическому миропониманию, и 2) описанием посредством раз навсегда установленных уравнений геодезических линий (7.2.8), но в искривленном пространстве-времени, что соответствует геометрическому миропониманию. Пуанкаре полагал, что всякий счел бы более удобным первый вариант, однако когда пришлось выбирать не между евклидовой и двумя видами неевклидовых геометрий, а между евклидовой и произвольной римановой геометрией, причем в связи с описанием гравитации, «более удобным» (точнее, — более адекватным физической реальности) оказался второй вариант. Он опирается на меньшее число исходных принципов, и на его основе удалось обнаружить закономерности, к которым трудно было прийти в рамках физического миропонимания. Однако сторонники «релятивистской теории гравитации» Логунова предпочитают настаивать на первом варианте Пуанкаре.

7.3. Системы отсчета в теории гравитации

Многолетний анализ основ общей теории относительности показал, что к названным Фоком двум идеям следует добавить еще один блок идей, выявляющий роль систем отсчета в теории гравитации. Только после этого общая теория относительности, в полной мере соответствуя своему названию, позволяет описывать явления в произвольных (неинерциальных) системах отсчета. Без него теория не полна и приводила к ряду недоразумений. Так, Эйнштейн и ряд других физиков часто путали такие различные понятия, как координатная система и система отсчета. В этой связи напомним высказывание В. А. Фока: «Понятие физической системы отсчета (лаборатории) не равносильно, в общем случае, понятию системы координат, даже если отвлечься от всех свойств лаборатории, кроме ее движения как целого» [124, с. 5]. Методы описания систем отсчета в общей теории относительности были разработаны в 50-х — 70-х годах XX века в работах, главным образом, отечественных авторов: А. Л. Зельманова, Н. В. Мицкевича, О. С. Иваницкой, В. И. Родичева и других, в том числе и автора данной книги [21].

Как известно, система отсчета и связанные с ней понятия необходимы для корректного описания результатов измерений (наблюдений физических явлений), так как они существенно зависят от того, как движется наблюдатель со своими приборами. В главе 2 этот вопрос уже

рассматривался в рамках специальной теории относительности. Было подчеркнуто, что если создание и первые этапы развития теории относительности происходили в направлении объединения пространства и времени в единое многообразие, то методы описания систем отсчета выполняют прямо противоположную функцию, — они, напротив, расщепляют 4-мерные понятия на привычные величины, отнесенные к физическому времени и физическому (наблюдаемому) пространству используемой системы отсчета.

Наиболее удобным методом описания систем отсчета в общей теории относительности является так называемый *монадный метод*, который опирается на предположение, что во всех точках пространства находятся свои наблюдатели, составляющие континуум. Каждый наблюдатель совершает измерения в своей точке и, эволюционируя, описывает в пространстве-времени свою временно-подобную мировую линию. При этом постулируется, что в каждой точке может находиться один и только один наблюдатель, т. е. что их мировые линии не пересекаются и образуют *конгруэнцию временно-подобных мировых линий*. Наконец, полагается, что наблюдатели являются идеальными в том смысле, что их масса пренебрежима мала и не влияет на метрику пространства-времени.

Далее эти идеи обрабатываются математически. Так, в каждой точке можно построить единичный касательный вектор к соответствующей временно-подобной мировой линии, который имеет физический смысл 4-мерной скорости наблюдателя. В итоге в каждой точке (см. рис. 7.2) задается один 4-мерный вектор — монада τ^μ, откуда и пошло название монадного метода. Этот вектор позволяет из произвольного тензора (в том числе и вектора смещения) выделять временно-подобные компоненты путем проецирования на вектор τ^μ. Далее метрический тензор представляется в виде

$$g_{\mu\nu} = \tau_\mu \tau_\nu - h_{\mu\nu}, \tag{7.3.1}$$

где $h_{\mu\nu}$ имеет смысл метрического тензора 3-мерного пространственного сечения, ортогонального монаде (мировым линиям системы отсчета). С его помощью находятся пространственно-подобные компоненты любого тензора.

Не будем погружаться в математический аппарат монадного метода. Отметим лишь, что его можно представить из следующих четырех частей: 1) алгебры монадного метода, 2) определения монадных физико-геометрических тензоров, 3) задания монадных операторов дифференцирования и 4) записи всех уравнений физики в монадном виде, т. е. относительно используемой системы отсчета. Заметим, что в монадном

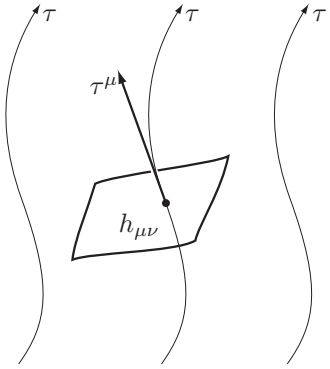

Рис. 7.2. Конгруэнция мировых линий наблюдателя, монада и локальное 3-мерное пространство наблюдателя

виде уравнения оказываются похожими на привычные уравнения в специальной теории относительности, но дополнительно учитывают силы инерции.

При этом следует обратить особое внимание на физико-геометрические тензоры, т. е. тензоры, записываемые через первые производные от составляющих метрического тензора (справа в (7.3.1)). Оказывается, таких величин три и только три. Они являются важными характеристиками системы отсчета — это *вектор ускорения, угловая скорость вращения и характеристика деформации системы отсчета.* Когда ранее говорилось о принципе эквивалентности, как правило, имелась в виду ускоренная система отсчета, где соответствующая сила инерции эквивалентна гравитационной силе.

При корректном использовании методов описания систем отсчета отпадают многие недоразумения, встречавшиеся в литературе. Так в некоторых работах утверждалось, что эйнштейновская общая теория относительности некорректна из-за того, что все используемые в ней величины зависят от выбора координатных систем. Изменяя координатную систему, представляющую собой лишь способ нумерации точек, можно величины изменять в широких пределах. При этом задавали вопросы, что же тогда измеряет наблюдатель в своей лаборатории? Так вот, в монадном методе наблюдаемые (измеряемые наблюдателем) величины могут быть только скалярами, т. е. они никак не зависят от выбора координатных систем.

Понятие системы отсчета в общей теории относительности заставляет сделать ряд важных выводов.

Во-первых, системы отсчета в теории гравитации демонстрируют тот факт, что переход от двух первичных (общепринятых) физических категорий к некоей новой категории диктует применение методов проецирования новых понятий на наблюдателя, использующего привычные понятий. Без такого метода проецирования нельзя осмыслить содержание новой теории.

Во-вторых, выделенные В. А. Фоком два принципа в основе общей теории относительности плюс блок системы отсчета позволяют посмотреть на эти три начала под новым углом зрения. Точками 4-мерного пространственно-временного многообразия (первое начало у Фока) описываются события с участием рассматриваемых объектов, гибкая метрика («нежесткая» по Фоку) в конце концов делает возможным учесть влияние на рассматриваемый объект со стороны всех других окружающих тел Вселенной (принцип Маха у Эйнштейна) и, наконец, сама система (тело) отсчета — это присутствие самого наблюдателя. Другими словами, теперь троичность выступает в следующем виде: наблюдатель — объект — окружающие тела.

7.4. Пространство-время вблизи центрального источника

В 1916 году, сразу же после открытия уравнений Эйнштейна, Карлом Шварцшильдом было найдено самое важное для физики точное решение этих уравнений — получена метрика пространства-времени вокруг сферически симметричного материального источника. В частности, таковыми источниками являются Солнце, Земля и многие другие астрофизические объекты. Выпишем это решение в сферических координатах

$$ds^2 = \left(1 - \frac{2GM}{c^2 r}\right)(dx^0)^2 - \frac{dr^2}{1 - 2GM/c^2 r} - r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2), \quad (7.4.1)$$

где r — радиальная координата, θ и φ — два угла от некоей оси и от заданного направления в экваториальной плоскости, M — масса центрального объекта, имеющая, как видно из (7.4.1), диагональный вид, причем перед одним слагаемым (временно-подобной частью) стоит знак плюс, а перед остальными (тремя пространственно-подобными) — знак минус. Это обстоятельство соответствует сигнатуре пространства-времени $(+\ -\ -\ -)$.

Рассмотрим некоторые принципиальные моменты метрики Шварцшильда. Выделим пространственно-подобную часть, т. е. положим $dx^0 = 0$, тогда можно писать $-ds^2 = dl^2$. Зафиксируем радиальную ко-

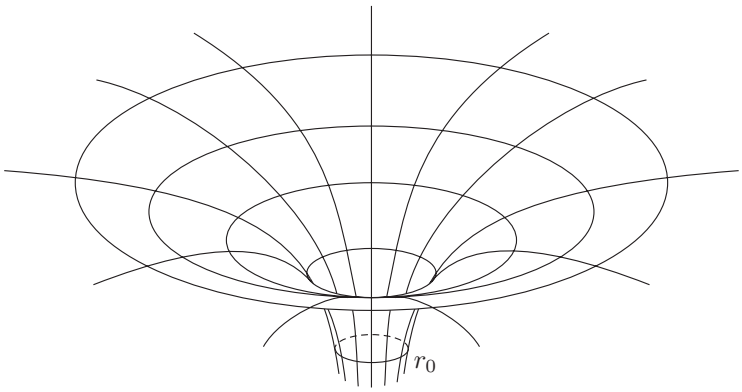

Рис. 7.3. Воронка, иллюстрирующая искривление пространства вокруг сферически-симметричного материального источника

ординату r, положив $dr = 0$, и рассмотрим смещение по окружности в экваториальной плоскости, т. е. пусть $\theta = 90^o$ и изменяться может лишь угол φ в экваториальной плоскости от нуля до 2π. В этом случае из (7.4.1) имеем выражения для смещения и полную длину окружности:

$$dl = rd\varphi \to l = 2\pi r. \tag{7.4.2}$$

Это очевидный результат, гласящий, что длина окружности, как и в евклидовом пространстве, выражается в виде произведения 2π на радиус. Однако в данном случае r является лишь радиальной координатой, которая при другом выборе координат могла бы входить в длину окружности иным образом. По этой причине часто говорят, что метрика Шварцшильда в виде (7.4.1) записана в специальных *координатах кривизн*.

Теперь возьмем смещение вдоль радиальной координаты от какого-то начального значения r_1 до конечного r_2 при $\theta = 90^o$ и при постоянном значении угла φ. В этом случае из (7.4.1) имеем

$$dl = \frac{dr}{\sqrt{1 - 2GM/c^2 r}} \to l = \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{\sqrt{1 - 2GM/c^2 r}} > (r_2 - r_1), \tag{7.4.3}$$

т. е. расстояние от источника до окружности длиной $2\pi r_2$ оказывается больше значения разности радиальных координат. Этот факт следует трактовать как прогибание пространства под материальным источником. Проиллюстрируем такое искривление пространства с помощью доступной нашему воображению 2-мерной аналогии в виде воронки на рисунке 7.3.

Рассмотрим метрику Шварцшильда при очень малых значениях параметра r. Из (7.4.1) видно, что при значении радиальной координаты

$$r_0 = \frac{2GM}{c^2} \tag{7.4.4}$$

компонента метрики g_{00} обращается в нуль, а компонента g_{11} стремится к бесконечности. Это значение r_0 называется *гравитационным радиусом*. Для Солнца он равен приблизительно 3 километрам, а для Земли — миллиметру. При еще меньших значениях $r < r_0$ компонента g_{00} становится отрицательной, а компонента g_{11} — положительной. Это означает, что координаты x^0 и $x^1 = r$ меняют свой характер: координата x^0 становится пространственно-подобной, а координата r — временно-подобной.

Для реальных объектов с геометрическими размерами, значительно превышающими гравитационный радиус, r_0 имеет символическое значение — означает перевод значений масс в размерность длины.

На основе записанных формул была высказана *гипотеза черных дыр*, имевшая многих сторонников. Согласно этой гипотезе, могут существовать объекты с геометрическим радиусом, меньшим гравитационного. Тогда вблизи таких объектов следует ожидать множество необычных явлений. Например, расчеты показывают, что из-под гравитационного радиуса ничто не может выйти, — ни у света, ни у других тел просто не хватит энергии преодолеть притяжение черных дыр. По этой причине они должны быть невидимыми, черными, что обусловило их название.

Однако на черные дыры могут падать (пересекать гравитационный радиус) другие объекты, причем для стороннего наблюдателя скорость падающих на черную дыру объектов должна стремиться к скорости света, при этом их масса должна неограниченно расти, а сам процесс падения должен продолжаться бесконечно долго. Любопытно отметить, что в системе отсчета падающих объектов время достижения ими гравитационного радиуса оказывается конечным.

В силу отсутствия у черных дыр их собственного излучения, предпринимались попытки их обнаружения в космосе по косвенным эффектам. Поскольку падающие объекты разгоняются до околосветовых скоростей, то при их столкновениях можно ожидать жесткое рентгеновское излучение. Предлагалось искать черные дыры как невидимые в оптическом диапазоне источники мощного рентгеновского излучения. В космосе было обнаружено несколько претендентов на черные дыры. Временами их насчитывалось много, но потом большинство из них отпадало, т.к. находились альтернативные объяснения источников таких излучений.

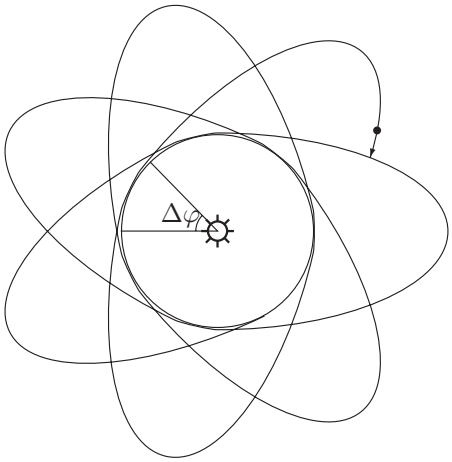

Рис. 7.4. Иллюстрация эффекта смещения перигелия Меркурия

В 60-х — 70-х годах в литературе, в том числе популярной, широко обсуждалась гипотеза черных дыр, но постепенно страсти вокруг нее затихли. Возобладала более трезвая позиция, соответствующая универсальному правилу в физике: если в теории в каких-то областях или явлениях возникают бесконечно большие величины, то это нужно воспринимать как сигнал того, что там выводы теории теряют силу. По мнению, высказанному В. А. Фоком и рядом других физиков-гравитационистов, бесконечности на гравитационном радиусе свидетельствуют о границе применимости закономерностей эйнштейновской теории гравитации.

Подтверждение общей теории относительности получено в пределах Солнечной системы и, в частности, Земли. Так, гравитационное притяжение объясняется движением тел по геодезическим линиям. Например, движение планет Солнечной системы по их орбитам можно проиллюстрировать при помощи 2-мерной аналогии реального искривления пространства вокруг Солнца (см. рисунок 7.3). Часть воронки, далекая от гравитационного радиуса, может быть уподоблена неглубокой чаше, по краю которой заставили катиться шарик (аналог планеты). Понятно, что этот шарик будет крутиться по поверхности, описывая некую кривую траекторию. Ясно также, что эта траектория в общем случае является незамкнутой. Расчеты показывают, что это будет некоторая розетка, в которой два соседних витка близки друг от друга. Эта розетка, изображенная на рисунке 7.4, как бы представляет вид сверху на траекторию, описываемую шариком в чаше-воронке (см. рисунок 7.3).

Для далеких планет Солнечной системы различие двух соседних витков чрезвычайно мало, и в некотором приближении их можно считать совпадающими, что соответствует движению планеты по замкнутой орбите ньютоновой теории гравитации — по эллипсу, в фокусе которого расположено Солнце. Для ближней планеты Солнечной системы отклонение соседних витков более существенно, и этот эффект (смещение перигелия Меркурия) был обнаружен астрономами уже в конце XIX века, хотя некоторое время для него не могли найти соответствующего объяснения. Оно было получено сразу же после создания общей теории относительности и явилось первым подтверждением эйнштейновской теории гравитации.

Другое подтверждение общей теории относительности было получено в 1919 году во время наблюдения солнечного затмения. Было показано, что лучи от далеких звезд, проходящие вблизи диска Солнца, искривляются, причем угол их отклонения оказался в два раза больше, чем это предсказывалось ньютоновой теорией гравитации. (Данный эксперимент, разумеется, можно проводить лишь во время солнечного затмения, когда на небе видны звезды.) Впоследствии этот эффект был подтвержден и в других экспериментах, связанных с радиолокацией планет солнечной системы, с наблюдениями отклонений радиосигналов от квазаров, с обнаружением отрицательных параллаксов далеких звезд и т. д.

В задачу данной книги не входит подробный анализ экспериментальных подтверждений общей теории относительности. Хотелось бы только еще раз напомнить, что в общей теории относительности, как и во всякой физической теории, присутствуют все три составляющие: математический аппарат, эксперимент и физическое (философское) осмысление. Некоторых огорчает сравнительно небольшое число экспериментальных подтверждений и приложений этой теории при широко развитом математическом аппарате, однако это компенсируется значительным числом следствий мировоззренческого характера.

7.5. Вселенная в целом. Космология

Общая теория относительности позволила физике выйти на качественно новый уровень в понимании физического мира — в ее рамках можно в принципе ставить и решать *задачу описания Вселенной как целого*. Конечно, нельзя забывать, что при этом производится экстраполяция наших представлений о мире максимально далеко за пределы изученной области Вселенной, против чего предупреждал Э. Мах. Тем не менее

обсуждение подобных задач необходимо, поскольку это может помочь ответить на вопрос, до каких пределов экстраполяция правомерна, когда и каким образом следует изменить наши представления о природе мироздания.

В математическом плане описание Вселенной как целого основано на решении уравнений Эйнштейна (7.2.8), в правую часть которых нужно подставить тензор энергии-импульса всей материи мира: планет, звезд, межзвездной среды и всего прочего. В силу того, что все это точно учесть невозможно, рассматривается только некоторая упрощенная модель.

Во-первых, предполагается, что всю материю мира можно представить в виде сплошной среды наподобие пыли, когда в качестве отдельных пылинок выступают не отдельные звезды и даже не отдельные галактики, а скопления галактик.

Во-вторых, полагается, что, пренебрегая рядом индивидуальных (пекулярных) движений пылинок, можно выбрать сопутствующую материи (скоплениям галактик) систему отсчета, т. е. такую, в которой приборы системы отсчета движутся вместе с материей.

В-третьих, предполагается, что сопутствующая система отсчета является нормальной, т. е. не вращается. Напомним, что подобные системы отсчета являются преимущественными в общей теории относительности и представляют собой своеобразный аналог инерциальных систем отсчета в ньютоновой механике. Важнейшим свойством нормальных систем отсчета является глобальное расщепление в них 4-мерного искривленного пространства-времени на 3-мерное пространство и ортогональное ему время (данной системы отсчета). В сопутствующей системе отсчета приборы вместе со средой как бы «вморожены» в пространство. Их движение может описываться лишь эволюцией самого пространства.

В-четвертых, когда уже определено глобальное 3-мерное пространство, полагается, что в нем распределение материи — пылинок однородно и изотропно, т. е. материя распределена равномерно вдоль каждого направления и одинаково по всем направлениям. Очевидно, что эти условия не выполняются в масштабах Солнечной системы, отдельной галактики или даже конкретного их скопления, однако по мере увеличения масштаба распределение материи все более становится близким к однородному и изотропному.

Решения уравнений Эйнштейна (без космологического члена) при выполнении всех этих условий впервые нашел в 1921 году наш соотечественник А. А. Фридман. В настоящее время так называемые *однородные изотропные космологические решения Фридмана*, составляющие основу

космологии, имеют следующий вид:

$$ds^2 = d\tau^2 - dl^2 \equiv a^2(x^0)(dx^0)^2 - \\ - a^2(x^0)[(dx^1)^2 + b^2(x^1)(d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2)], \qquad (7.5.1)$$

где $a(x^0)$ — функция от временно-подобной координаты x^0, описывающая эволюцию мира, а $b(x^1)$ — функция от одной пространственно-подобной координаты x^1, характеризующая 3-мерное пространство сопутствующей системы отсчета. Эта функция может иметь три и только три вида, в каждом из которых получается свой вид функции $a(x^0)$. Оказывается, эти три случая соответствуют трем видам геометрий, сыгравшим важную роль в становлении общей теории относительности:

1) $b(x^1) = x^1 \equiv r \to a(x^0) = a_0(x^0)^2$, что соответствует расширяющемуся 3-мерному пространству Евклида с метрикой, записанной в сферических координатах
$$dl^2 = a^2(x^0)[dr^2 + r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2)]. \qquad (7.5.2)$$
2) $b(x^1) = shx^1 \to a(x^0) = a_0(chx^0 - 1)$, где a_0 — константа, — в этом случае речь идет об открытой модели Фридмана с 3-мерным пространством Лобачевского
$$dl^2 = a^2(x^0)[(dx^1)^2 + sh^2x^1(d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2)]. \qquad (7.5.3)$$
3) $b(x^1) = \sin x^1 \to a(x^0) = a_0(1 - \cos x^0)$, где a_0 — константа, — здесь мы имеем закрытую модель Фридмана с 3-мерным пространством Римана (постоянной отрицательной кривизны)
$$dl^2 = a^2(x^0)[(dx^1)^2 + \sin^2 x^1(d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2)]. \qquad (7.5.4)$$

Обратим внимание на основные следствия из полученных решений:

1. Характерным свойством этих трех моделей является наличие «начальных» моментов эволюции при $x^0 = 0$, обычно трактуемых как «рождение Вселенной» вследствие взрыва.

2. Все три решения характеризуются тем, что при $x^0 = 0$ плотность материи обращается в бесконечность. В соответствии с общим правилом трактовки бесконечностей в физике, это означает, что в окрестности нуля, «начального момента» эволюции, закономерности общей теории относительности теряют силу и ею можно пользоваться, лишь начиная с какого-то момента $x^0 > 0$.

3. Все 3-мерные метрики содержат конформный фактор $a(x^0)$, соответствующий изменению во времени пространственного масштаба. При $x^0 > 0$ первые две модели монотонно расширяются, тогда как закрытая модель Фридмана сначала расширяется до максимального радиуса

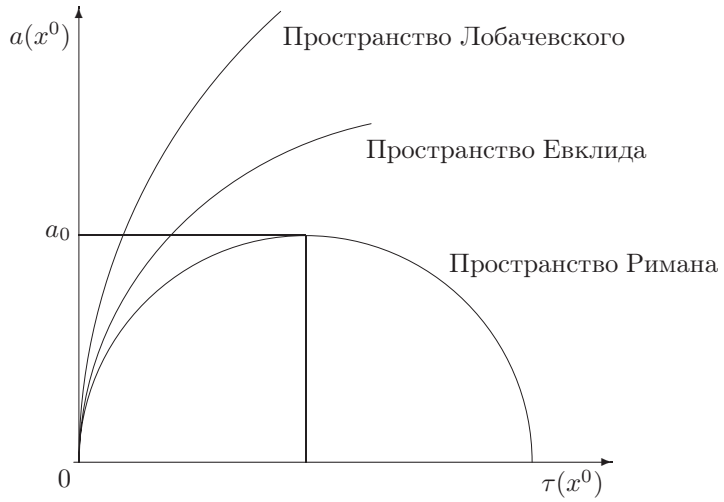

Рис. 7.5. Эволюция трех однородных изотропных космологических моделей Фридмана

a_0 и затем начинает сжиматься. Зависимости масштабов $a(x^0)$ от физического времени $\tau(x^0)$ приведены на графиках рисунка 7.5. Первые две модели мира эволюционируют от начального горячего состояния до холодного состояния при очень больших значениях τ. Закрытая модель Фридмана соответствует развитию от горячего состояния к некоторому охлаждению и опять разогреву до горячего состояния.

4. В конце 20-х годов XX века Э. Хабблом было обнаружено красное смещение в спектрах далеких звезд, причем оно оказалось зависящим от расстояния — чем дальше звезда, тем оно больше. Относительное красное смещение характеризуется формулой $\Delta\nu/\nu = -Hl$, где l — расстояние до источника, $H = \dot{a}/a^2$ — постоянная Хаббла, оцениваемая ныне величиной $\sim 6,5 \cdot 10^{-18} c^{-1}$. Это смещение трактуется как разбегание галактик (точнее, пылинок — скоплений галактик), причем это не означает, что они удаляются от одного центра. Такая закономерность имеет место относительно любого наблюдателя сопутствующей системы отсчета. Учитывая этот факт, на графике изображены только решения, описывающие расширение хотя бы на каком-то этапе эволюции. (Отброшены аналогичные решения, описывающие противоположные сценарии — сжатия мира в сингулярное состояние.)

5. Возникает естественный вопрос: какой из этих трех моделей Фридмана описывается наш мир? Из уравнений Эйнштейна следует, что ответ на него зависит от средней плотности материи во Вселенной. Имеется

критическая плотность вещества во Вселенной

$$\rho_0 = 3H^2/\varkappa c^2 \sim 10^{-29}\,\text{г/см}^3. \tag{7.5.5}$$

Если окажется, что плотность $\rho > \rho_0$, то наш мир описывается закрытой космологической моделью Фридмана, если $\rho < \rho_0$, то следует использовать закрытую космологическую модель (с 3-мерным пространством Лобачевского); и, если $\rho = \rho_0$, то мы живем в пространстве Евклида.

В настоящий момент плотность наблюдаемой части Вселенной оценивается значением $\rho \sim 10^{-31}$г/см^3. Экстраполируя эти данные на всю Вселенную, приходим к выводу об их соответствии открытой модели Фридмана, где пространство описывается геометрией Лобачевского. Однако, скорее всего, при оценке ρ учитывается не вся материя. Неоднократно высказывались гипотезы о существовании новых видов материи (черных дыр, нейтрино с неравной нулю массой покоя и других), поэтому по мере их открытия оценка средней плотности будет приближаться к критической. Окончательный вывод делать рано, но ряд астрофизических данных свидетельствует в пользу средней плотности, равной критической, следовательно, наш мир в сопутствующей системе отсчета в среднем плоский.

6. Зная характер эволюции мира, можно сделать некоторые выводы о возрасте Вселенной. Если бы она всегда расширялась в наблюдаемом темпе, то для расширения до современного состояния в сопутствующей системе отсчета понадобилось бы $T_1 \sim 1/H \sim 10^{10}$ лет. На самом деле, как видно из графиков на рисунке 7.5, в ранние этапы расширение должно было быть более быстрым, поэтому следует брать значение $T_2 \sim (2/3)T_1$. Это небольшой возраст, сравнимый с оценками возраста земной коры, даваемого геологами. Выход из этого противоречия может быть найден на основе более сложных космологических моделей и учета неких дополнительных обстоятельств.

Первое космологическое решение было найдено самим Эйнштейном, однако ему показалось, что оно возможно лишь при добавлении в его уравнения специального космологического члена $\Lambda g_{\mu\nu}$

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R + \Lambda g_{\mu\nu} = \varkappa T_{\mu\nu}, \tag{7.5.6}$$

где величина Λ получила название *космологической постоянной*. Полученное им решение описывает статический мир с 3-мерным пространственным сечением, характеризуемым геометрией Римана (с постоянной положительной кривизной). Узнав о решениях Фридмана, Эйнштейн опубликовал заметку с утверждением, что Фридман ошибся. Благодаря усилиям российских коллег, убедивших Эйнштейна перепроверить

вычисления, была опубликована другая заметка с признанием правоты А. А. Фридмана.

Космологическая постоянная может принимать три вида значений: положительное, нулевое и отрицательное. Положительные значения космологической постоянной соответствуют своеобразному космическому отталкиванию, а отрицательные значения — космическому притяжению. Учитывая три вида возможных пространственных сечений (евклидово, гиперболическое и сферическое), имеем 9 вариантов однородных изотропных космологических моделей Вселенной, получающихся из решений уравнений Эйнштейна (7.5.6).

Поскольку космологическая постоянная должна быть чрезвычайно малой по модулю, чтобы не противоречить наблюдениям, то ее, как полагали достаточно долгое время, можно вообще исключить из рассмотрения. Однако в конце XX века был сделан вывод о необходимости учета этого слагаемого в уравнениях Эйнштейна.

В метафизическом плане особый интерес проявляется к начальным моментам эволюции Вселенной в космологических решениях уравнений Эйнштейна. Некоторые даже утверждают, что общая теория относительности подтвердила творение мира Богом и Библию. По этому поводу сделаем следующие замечания:

Во-первых, космологические решения получены на основе экстраполяции данных, видимых с Земли, на Вселенную в целом, что может оказаться неправомерным.

Во-вторых, космологические решения в окрестностях «начала» имеют сингулярность, что свидетельствует лишь о том, что в этой области эйнштейновская общая теория относительности теряет силу.

В-третьих, нельзя исключать возможность радикального изменения представлений о принципах описания физической реальности, как это неоднократно бывало в прошлом. В частности, переход к монистической парадигме может существенно повлиять на понимание мира в целом.

7.6. Гравитационные волны

С 60-х годов XX века научная общественность с большим интересом следила за экспериментальным поиском гравитационного излучения внеземного происхождения. Отметим, что еще до рождения Эйнштейна В.Клиффорд писал о возможности геометрической ряби, бегущей по почти плоскому пространству. В рамках общей теории относительности

исследование такого явления, названного *гравитационными волнами*, было начато самим Эйнштейном в 1918 году. В течение XX века было выполнено огромное число работ по теоретическому анализу предполагаемого явления, в частности, было предсказано, что гравитационные волны, как и электромагнитные, должны иметь две поляризации, поясненные на рисунке 7.6. Если в плоскости волнового фронта поместить круг, то следует ожидать, что воздействие гравитационной волны приведет к волнообразному сжатию точек круга вдоль некоей оси, например x^1 и одновременному расширению вдоль перпендикулярной оси x^2, затем восстановлению его формы, а потом к расширению вдоль оси x^1 и к сжатию вдоль x^2 и так далее. Для другой поляризации следует ожидать то же самое, но относительно осей, повернутых к первым под углом 45 градусов.

Первые же оценки показали, что реальное гравитационное излучение должно быть чрезвычайно слабым. Долгое время справедливо считалось, что его обнаружение лежит далеко за пределами возможностей эксперимента и что это дело отдаленного будущего. Но в начале 60-х годов американский физик Дж.Вебер объявил о постановке экспериментов по детектированию гравитационных волн внеземного происхождения. На 3-й Международной гравитационной конференции в Варшаве (1962) он рассказал о параметрах создаваемого им детектора. Затем через три года на следующей конференции в Лондоне Вебер выглядел очень уставшим, так как стремился к началу конференции обнаружить гравитационные волны. Как выяснилось, его установка была столь чувствительной, что реагировала на движение транспорта и индустриальные шумы, поэтому ему приходилось работать по ночам. К 1965 году Вебер не обнаружил волны, но его эксперимент вызвал живой интерес: в ряде лабораторий мира начали подумывать о создании аналогичных установок.

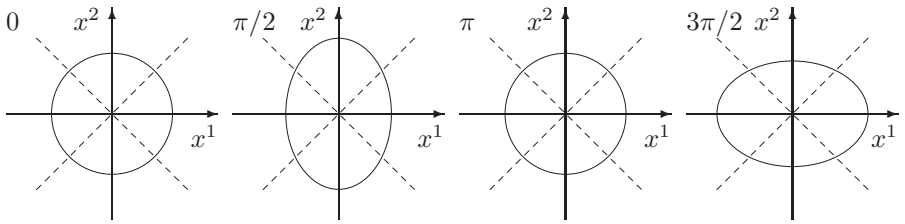

Рис. 7.6. Воздействие гравитационной волны на круг в плоскости волнового фронта

Наконец, в 1969 году Дж. Вебер объявил об открытии гравитационного излучения. Научный мир был взволнован, а от Вебера поступали все новые и новые сообщения, из которых следовало, что гравитационные сигналы принимаются им все чаще и чаще: раз в месяц, два раза в месяц... Уже указывалось направление, откуда приходит излучение (центр нашей Галактики), и приводились сведения о его поляризации. Как утверждалось, сигналы принимались одновременно несколькими установками, а для расшифровки данных применялись компьютеры.

Это уже была сенсация, которая попала в газеты, радиопередачи и научно-популярные журналы, объявившие об открытии нового вида материи, описываемой характеристиками пространства-времени (формы существования материи). Открытие, несомненно, имело философское звучание, но оно вызывало и практический интерес: открывались широкие перспективы, во-первых, для получения дополнительной информации из космоса и, во-вторых, можно было ставить вопрос о новом канале связи, для которого практически не было преград.

Как же отнеслись к этому физики-релятивисты? По-разному. В 1971 году на 6-й Международной конференции по общей теории относительности и гравитации в Копенгагене многие поверили в открытие, и Вебер чувствовал себя героем. Но возникал ряд серьезных вопросов об источниках столь мощного гравитационного излучения и о причинах излучения в диапазоне частот, на которые была настроена установка Вебера. Теоретики приступили к анализу возможных астрофизических процессов, весьма экзотичных, могущих приводить к таким всплескам излучения. В качестве таковых назывались столкновения черных дыр, падения на них галактик и прочее. Таким образом, Вебер претендовал на двойное открытие: во-первых, самих гравитационных волн и, во-вторых, принципиально новых явлений в космосе.

Но нельзя забывать, что всякое открытие необходимо повторить в других лабораториях и только после его подтверждения рядом исследователей можно считать состоявшимся. Во многих лабораториях мира пытались повторять эксперимент Вебера, но сделать это оказалось нелегко: требовалось создать аппаратуру, по чувствительности превышающую все сделанное к тому времени человеком. В 1972 году первыми на необходимый уровень чувствительности вышли в МГУ, в лаборатории В. Б. Брагинского, но результаты экспериментов оказались отрицательными. Затем стали поступать сведения из лабораторий США, Англии, Италии и других стран, где данные экспериментов Вебера также не нашли своего подтверждения.

Одновременно проводился теоретический анализ гипотезы гравитационных волн. Так, в опубликованной в 1972 году монографии[1] В. Д. Захарова [47] были проанализированы концептуальные трудности в теоретическом определении самого явления гравитационных волн, а следовательно, и проблемы их экспериментального обнаружения. В этом исследовании было показано, что так называемое открытие Вебером гравитационных волн означало бы вклад в решение еще двух принципиальных проблем общей теории относительности: в определение энергии гравитационного поля (решение проблемы законов сохранения) и проблемы квантования гравитационного поля. Это три блока теоретических проблем, неразрывно связанных друг с другом, так и нерешенных в XX веке.

Интерпретации экспериментов с гравитационными волнами опираются на посылку о том, что они аналогичны давно освоенному электромагнитному излучению. Последнее описывается уравнениями (3.2.4) в плоском пространстве-времени Минковского, волновые решения которых находятся в виде функций от $t-r/c$, где c — скорость света. Для случая гравитации необходимо выделить волновые решения именно уравнений Эйнштейна, при этом еще нужно указать общековариантный или референционный критерий его волнового характера. Было предложено много критериев, как алгебраических (общековариантных), так и референционных, связанных с определением системы отсчета, но ни один из них не был признан удовлетворительным. Проще говоря, физики до сих пор не умеют даже корректно поставить задачу: какое искривленное пространство-время следует назвать полем гравитационной волны?

На 4-й Всесоюзной гравитационной конференции в Минске (1975) собрались представители ведущих гравитационных лабораторий мира, рассказавших о своих исследованиях в этой области. После конференции было заключено шутливое пари на наиболее точное предсказание времени обнаружения гравитационных волн. Как рассказывал профессор М. Ф. Широков, рефери этого пари, назывались разные сроки: три года, десять и более лет. А физик-теоретик П. Бергман, в свое время сотрудничавший с А. Эйнштейном, сказал: «Никогда!»

С тех пор прошло уже более тридцати лет. Были разные заявления. (Вебер продолжал упорствовать на открытии «неких» эффектов.) В том числе было объявлено о косвенном подтверждении существования гра-

[1] В предисловии, написанном виднейшим отечественным гравитационистом А. З. Петровым, было отмечено, что книга является «первой в мировой литературе попыткой широкого описания различных теоретических построений, связанных с проблемой гравитационных волн». Книга до сих пор является единственной в этой области, широко цитируемой в мировой литературе.

витационного излучения от кратных астрофизических объектов, однако прямого обнаружения гравитационных волн до сих пор нет, несмотря на большие затраты на эти эксперименты. В научных кругах ходила шутка: «Господин Вебер гравитационных волн не открыл, но зато открыл источники финансирования их исследований».

7.7. Обобщения римановой геометрии

Как Эйнштейну, так и другим исследователям было ясно, что общая теория относительности не полна в том смысле, что в ее рамках удалось геометризовать лишь гравитационное взаимодействие. Остро ощущалась необходимость геометризации, по крайней мере, еще одного взаимодействия, медленно убывающего с расстоянием, — электромагнитного.

1. Попытки Германа Вейля решить эту проблему увенчались важным математическим результатом, сравнимым с открытием первой неевклидовой геометрии в первой трети XIX века, — уже в 1918 году он открыл первую нериманову геометрию (геометрию с неметричностью или с *сегментарной кривизной*). Суть этой геометрии состоит в том, что в ней, в отличие от римановой геометрии, векторы (тензоры) при параллельном переносе меняют свою длину. Вейль попытался связать это свойство геометрии с наличием электромагнитного поля. Получилась достаточно любопытная теория, в рамках которой были введены и другие важные для физики понятия, такие как конформные преобразования, тензор Вейля и другие. Однако анализ этой теории показал ее непригодность для целей геометризации электромагнетизма.

Следует отметить, что Вейль использовал частный, так называемый *вырожденный* случай геометрии с неметричностью, когда обобщенная ковариантная производная от метрического тензора представляется в виде произведения двух тензоров $\nabla_\sigma g_{\mu\nu} = A_\sigma g_{\mu\nu}$, где A_μ с точностью до коэффициента отождествлялось с векторным потенциалом электромагнитного поля. Вскоре А. С. Эддингтоном было показано, что для данной цели можно использовать общий случай геометрии с сегментарной кривизной.

2. В 1922 году математик Эли Картан сделал другое важное открытие в геометрии, сравнимое с открытием второй неевклидовой геометрии Риманом, — была обнаружена вторая нериманова геометрия с *кручением*. Она характеризуется антисимметричной частью коэффициентов связности, т. е. к символам Кристоффеля в (7.2.9) добавляется антисимметричный по нижним индексам тензор кручения. В такой геометрии

нарушается всем известное из школьной программы правило параллелограмма при сложении векторов.

Выделим несколько интересных случаев геометрии с кручением, применявшихся для построения обобщенных теорий гравитации.

1) В ряде работ физиков-гравитационистов, в том числе и Эйнштейна, исследовались геометрии с *абсолютным параллелизмом*. Они примечательны тем, что в них кривизна компенсируется кручением, так что результирующий тензор кривизны равен нулю, как в плоском пространстве-времени.
2) Известно, что Эйнштейн перепробовал множество вариантов единых теорий гравитации и электромагнетизма. В последние годы жизни с этой целью он исследовал геометрию с несимметричной метрикой, когда обобщенный метрический тензор представляется в виде симметричной и антисимметричной частей

$$\tilde{g}_{\mu\nu} = g_{\mu\nu} + CF_{\mu\nu}, \tag{7.7.1}$$

   где $F_{\mu\nu}$ — тензор напряженности электромагнитного поля, C — некий размерный коэффициент. Такую теорию можно понимать как специальный случай геометрии с кручением.
3) Имелись работы, в которых исследовались геометрии с кручением вне связи с проблемой геометризации электромагнетизма. Так была развита теория Эйнштейна-Картана, в которой в качестве источника кручения выступает момент количества движения. Для отдельных частиц это их спин.

3. В начале 30-х годов Я. А. Схоутен, проанализировав результаты своих предшественников по неримановым геометриям, сформулировал систему самых общих требований, предъявляемых к дифференциальным геометриям, и показал, что все такие возможные геометрии можно охарактеризовать *тремя и только тремя тензорными величинами — схоутенами*: сегментарной кривизной (тензором неметричности Вейля), тензором кручения и разностью коэффициентов связности для параллельного переноса ко- и контравариантных величин.

Любопытно отметить, что и здесь опять проявляется троичность ключевых величин. Поскольку каждый из схоутенов может быть трех видов: нулевым, вырожденным или произвольным, то возможны $3^3 = 27$ типов дифференциальных геометрий, из которых риманова геометрия, использованная для построения эйнштейновской общей теории относительности, является простейшей, так как характеризуется нулевыми значениями всех трех схоутенов.

4. Следует отметить, что физики исследовали также другой канал обобщения римановой геометрии — так называемые *финслеровы геометрии*. Они опираются на более общие, нежели квадратичные в римановой геометрии (7.2.6), способы записи метрики (корень квадратный из квадратичной формы). Начало этому направлению исследований было положено самим Риманом в его знаменитом мемуаре «О гипотезах, лежащих в основании геометрии», где он писал, что элементом длины мог бы служить и корень четвертой степени из формы четвертого порядка, хотя соответствующая геометрия и была бы более сложной.

В 1918 году следующий важный шаг в развитии таких геометрий был сделан Паулем Финслером. Хотя сейчас нет веских экспериментальных оснований для перехода от римановой геометрии к финслеровой, тем не менее активно ведущаяся разработка финслерова обобщения теории гравитации является интересным направлением исследований. Переход к такой теории мог бы быть полезным в тех случаях, когда проявляется анизотропия свойств пространства-времени.

5. Имеется серия работ по исследованию так называемых *биметрических теорий гравитации*, в которых используется не одна метрика, как во всех ранее упоминавшихся геометриях, а две, т. е. два метрических тензора $g_{\mu\nu}$ и $\tilde{g}_{\mu\nu}$. Наиболее известна биметрическая теория Н.Розена, где вторая метрика вводится постулативно. Отличительная особенность подобных теорий заключается в том, что разность символов Кристоффеля, образованных из соответствующих метрик, является тензорной величиной, которую предлагается использовать для описания гравитации.

Серьезные возражения против таких теорий связаны с неясностью физического смысла и с проблемой наблюдаемости второй метрики. Упомянем здесь также вариант теории гравитации, развиваемой Н. А. Черниковым, который основан не на двух метриках, а на двух видах коэффициентов связности.

6. В 70-х годах XX века довольно популярными были так называемые *скалярно-тензорные теории гравитации*, в которых к метрическому тензору $g_{\mu\nu}$ добавлено еще скалярное поле φ, что и определило их название. Начало этому направлению положили исследования 5-мерных геометрических теорий Калуцы—Клейна. Затем пятимерие было отброшено, а скалярное поле стало рассматриваться как самостоятельное. Эти исследования были начаты в 40-х годах в работах П. Йордана, Дж. Тирри и других авторов. Более подробный вариант теории был развит К. Брансом и Р. Дикке в начале 60-х годов, поэтому наиболее распространенный вариант таких теорий называется теорией Йордана—Бранса—Дикке.

В скалярно-тензорных теориях гравитации проявляется ряд интересных особенностей. Например, гравитационная постоянная присутствует в комбинациях со скалярным полем, что позволяет реализовать гипотезу Дирака о переменности гравитационной константы. Кроме того, в такой теории возникает эффективная (через скалярное поле) зависимость масс частиц от места их расположения.

7. Физические теории в искривленных (обобщенных) пространственно-временных многообразиях можно строить по образу и подобию теорий физического видения мира, т. е. на основе вариационного принципа, тем или иным способом задавая лагранжиан гравитационного поля. Для получения эйнштейновской теории гравитации и ряда ее обобщений в качестве лагранжиана выбирается скалярная кривизна ($R = R_{\mu\nu}g^{\mu\nu}$). Однако имеется ряд работ, где исследовались варианты теории, построенные на основе *квадратичных лагранжианов* из тензора кривизны. В частности, такой вариант обобщения гравитации обсуждался в работах А. Д. Сахарова.

Здесь названы далеко не все исследовавшиеся варианты обобщений эйнштейновской теории гравитации. Например, обсуждались многочисленные комбинации из названных выше обобщений, в частности, теории с неметричностью и кручением, квадратичные теории с кручением, с неметричностью и т. д.

Исследования *многомерных геометрических моделей* единой теории гравитации и других физических взаимодействий будут рассмотрены в главе 8.

7.8. Выводы из исследований общей теории относительности

Из исследований общей теории относительности в течение XX века можно сделать следующие выводы метафизического характера:

1. Общая теория относительности построена в рамках дуалистической метафизической парадигмы, где категории пространства-времени и гравитационного поля объединены в обобщенную категорию искривленного (риманова) 4-мерного пространства-времени, тогда как третья категория частиц остается самостоятельной и учитывается в виде правой части уравнений Эйнштейна. В свете полного спектра из восьми метафизических парадигм, использованную в эйнштейновской теории гравитации парадигму можно понимать как промежуточную на пути от редукционистской триалистической парадигмы к холистской монисти-

ческой парадигме. Это следует иметь в виду при трактовке следствий эйнштейновской теории гравитации.

2. В основание общей теории относительности положены три блока идей:

1) Описание событий (объектов рассмотрения теории) в рамках 4-мерного пространственно-временного многообразия.
2) Риманов (нежесткий) характер метрики, позволяющий учитывать влияние на соотношения между событиями (на метрику) со стороны окружающего мира. В начальном понимании Эйнштейном сущности его теории это было названо принципом Маха.
3) Ключевая роль систем отсчета, позволяющих интерпретировать понятия и следствия теории относительно конкретного наблюдателя.

Таким образом, в основе теории лежат три фактора: объект, окружающий мир и субъект.

3. Основные дискуссии в общей теории относительности велись вокруг трех групп следствий из решений уравнений Эйнштейна, тесно связанных с тремя ключевыми физическими категориями:

1) С *категорией частиц* следует соотнести проблему особенностей в частицеподобных решениях (для метрик, создаваемых компактными материальными источниками), в частности, проблему с сингулярностью (с гравитационным радиусом) в метрике Шварцшильда. Отметим, что самый общий случай частицеподобных решений характеризуется семью константами: массой m (гравитационным радиусом $r_0 = 2mG/c^2$), электрическим зарядом q, магнитным зарядом g, параметром Керра a, характеризующим вращение источника, ускорением b, параметром НУТ (Ньюмена, Унти, Тамбурино) n (мнимой массой?), космологической постоянной Λ. Учет нескольких констант сказывается на характере особенностей решений.
2) С *категорией пространства-времени*, точнее, с ее глобальными свойствами, связан выбор одной из возможных космологических моделей. Примечательно, что для однородных изотропных космологических моделей имеются три возможности, соответствующие трем классическим геометриям: Евклида, Лобачевского и Римана (пространства постоянной положительной кривизны).
3) С *категорией гравитационного поля* следует связать проблему гравитационных волн, которая, как уже отмечалось, не была решена в XX веке ни в экспериментальном, ни в теоретическом планах. Несомненно, эта проблема имеет метафизический характер: ее решение означало бы выход из дуалистической парадигмы общей теории отно-

сительности, — выделение гравитационных волн из обобщенной категории искривленного пространства-времени соответствует переходу к триалистической парадигме.

4. Следует более подробно остановиться на проблеме гравитационных волн. Обнаружение гравитационных волн предполагает энергетическое воздействие их на прибор, но в XX веке не было предложено удовлетворительного выражения для энергии «гравитационного поля», поскольку законы сохранения в искривленном пространстве-времени удается ввести лишь на основе псевдотензорного подхода, когда энергия и импульс «гравитационного поля» не описываются тензорными величинами. Посредством чисто математической процедуры преобразований координат энергию «гравитационного поля» (волны) можно менять в широких пределах. Возникает вопрос: что же тогда может измерить экспериментатор?

Отметим, что отсутствие законов сохранения энергии и импульса в общей теории относительности не означает их нарушений, — до сих пор не было указано ни одного даже мысленного эксперимента, свидетельствовавшего бы о таком нарушении. К альтернативе: сохраняется энергия или не сохраняется, — в общей теории относительности добавляется третье решение — законы сохранения энергии и импульса теряют смысл. Их существование связано с симметриями пространства и времени, а в произвольно искривленном пространстве-времени их нет. Да законы сохранения и не нужны для решения корректно поставленных задач в рамках общей теории относительности. Проблема с законами сохранения возникает лишь при попытках рассмотрения некорректно поставленных задач в эйнштейновской теории гравитации, как то — описания гравитационных волн или квантования гравитации.

5. Одним из важнейших результатов общей теории относительности является открытие А. З. Петровым алгебраической классификации пространств Эйнштейна, согласно которой *все возможные решения уравнений Эйнштейна делятся на три класса (типа)*. При этом первый класс (T_1) образован тремя подтипами, второй (T_2) — двумя, а третий (T_3) — одним. В работах Р. Пенроуза классификации Петрова была придана наглядная иллюстрация в виде диаграммы Петрова—Пенроуза, изображенной на рисунке 7.7. Стрелками обозначены переходы между подтипами. Сферически симметричные (частицеподобные) решения Шварцшильда и иные, а также однородные изотропные космологические модели Фридмана принадлежат подтипу D первого типа (класса). В многочисленных работах 60-х — 70-х годов дискутировался вопрос, к какому

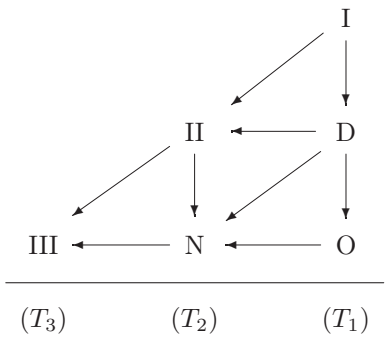

Рис. 7.7. Диаграмма Петрова—Пенроуза, поясняющая алгебраическую классификацию пространств Эйнштейна

подтипу отнести волновые решения уравнений Эйнштейна. Однозначного ответа не было дано, но большинство алгебраических критериев указывало на подтип N.

Не вдаваясь в математические тонкости алгебраической классификации Петрова, отметим, что она основана на возможности представления всех компонент тензора кривизны (тензора Римана—Кристоффеля $R^{\alpha}_{\cdot\beta\mu\nu}$ или тензора Вейля) в виде комплексной 3×3-матрицы и на анализе собственных векторов и собственных значений этой матрицы.

6. В течение XX века принципы классической теории гравитации и ее возможности (в сфере корректно поставленных в ней задач) подверглись достаточно серьезному и тщательному анализу. Можно утверждать, что в концептуальном плане к концу XX века эйнштейновская теория гравитация потеряла свой фундаментальный статус и исследования в ее рамках приобрели характер решения трудоемких задач математической физики: решений систем нелинейных дифференциальных уравнений с частными производными и изучению их свойств. Центр тяжести исследований переместился к проблемам релятивистской астрофизики (в рамках искривленного пространства-времени), к вопросам совмещения принципов общей теории относительности и физики микромира, а также к изучению возможностей названных выше обобщений классической эйнштейновской теории гравитации.

7. Теоретический анализ возможных обобщений эйнштейновской теории показал, что, как правило, все они содержат общее устойчивое ядро закономерностей в виде общей теории относительности, что свидетельствует о фундаментальном характере метрических отношений.

Глава 8

Многомерность физического мира

Общая теория относительности не в полной мере решает задачу геометризации взаимодействий: в ней это делается лишь для одного из известных физических взаимодействий — гравитационного. Но идеология геометрического миропонимания диктует распространение ее принципов и на другие виды взаимодействий. В XX веке решению этой проблемы уделялось значительное внимание, причем интерес к ней то возрастал и она становилась в центре внимания, то затухал. Порой даже отрицалась правомерность постановки этой задачи. К концу XX века эта проблема вновь заняла достойное место в мировых исследованиях, и в настоящее время есть все основания полагать, что в принципиальном плане эта проблема уже решена. В данной главе рассматриваются концептуальные вопросы многомерных геометрических моделей (теорий) известных видов физических взаимодействий.

Обратимся к кубу физической реальности и рассмотрим его со стороны задней грани, олицетворяющей геометрическое миропонимание. Отложим вдоль вертикальной оси, соответствующей категории пространства-времени, размерности геометрической теории (модели), а на горизонтальной оси, соответствующей категории полей переносчиков взаимодействий, отметим геометризуемые поля: электромагнитное A_μ, поля слабых взаимодействий Z_μ, $W_\mu^\pm$, переносчики сильных взаимодействий — глюонные поля $\mathcal{A}_N$. Тогда заднюю грань куба можно представить разбитой на несколько вложенных друг в друга разновеликих квадратов (см. рис. 8.1). Малый квадрат соответствует 4-мерной общей теории относительности, геометризующей гравитацию; следующий за ним квадрат — 5-мерной геометрической модели гравитационных и электромагнитных взаимодействий Калуцы; и, наконец, последний квадрат — геометрическим моделям грави-электрослабых и грави-сильных взаимо-

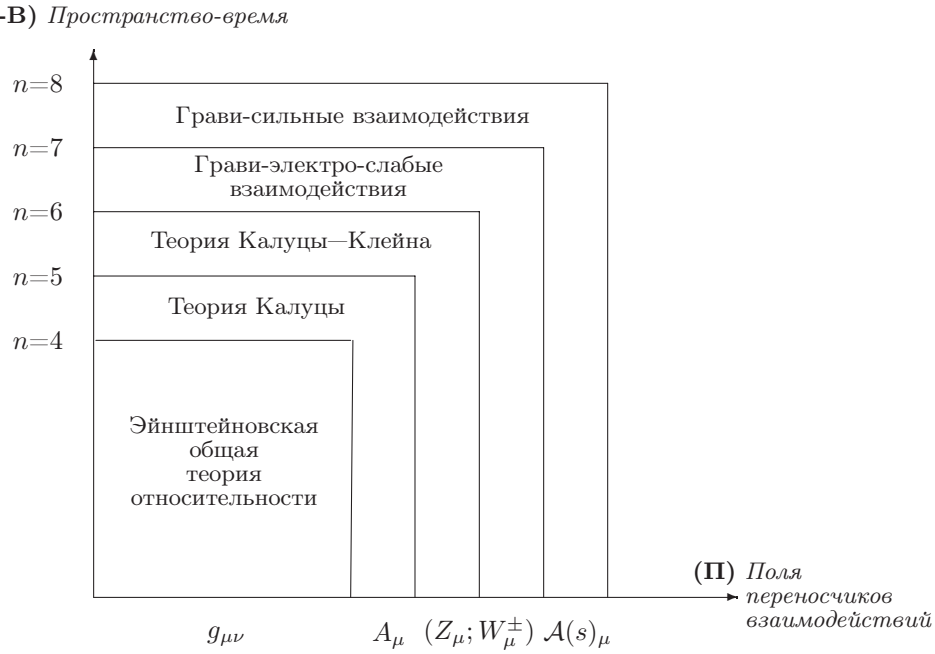

Рис. 8.1. Размерность пространства-времени и геометризация физических взаимодействий

действий еще больших размерностей, которые рассматриваются в данной главе.

8.1. Становление идеи о многомерности пространства

Появление представлений о многомерности пространства является важной вехой в развитии учения о природе физического пространства-времени, стоящей в одном ряду с открытием неевклидовых геометрий. Рождение многомерного подхода часто связывают с публикацией статьи Т. Калуцы 1921 года [56], однако высказанные в ней идеи были подготовлены трудами многих предшественников.

1. Трудно сказать, кому здесь принадлежит приоритет. Размышления о природе размерности можно найти у И. Канта, который высказал идею о тесной связи трехмерности пространства с характером зависимости физических сил (гравитационных и электростатических) от расстояния между взаимодействующими телами — обратно пропорционально квадрату расстояния. Кроме того, он допускал возможность существования многомерных пространств: «Если возможно, чтобы существовали

протяжения с другими измерениями, то весьма вероятно, что Бог где-то их действительно разместил».

2. Вполне отчетливо идеи многомерности были сформулированы в работах математиков XVIII–XIX веков. Так, о возможности рассмотрения времени как четвертого измерения писал Ж. Даламбер. Многомерные конфигурационные пространства обобщенных координат вводил в своих работах Ж. Л. Лагранж. Далее следует назвать труды Б. Римана, Г. Грассмана, А. Кэли и многих других. Но логика развития математики такова, что всякая красивая математическая идея или структура рано или поздно «примеряется» к явлениям различных областей естествознания.

3. Особо следует подчеркнуть роль Б. Римана, который ввел в своем знаменитом мемуаре «О гипотезах, лежащих в основании геометрии» понятие «n-кратно протяженной величины»: «Я поставил перед собой задачу, — писал он, — исходя из общего понятия о величине, сконструировать понятие многократно протяженной величины. Мы придем к заключению, что в многократно протяженной величине возможны различные мероопределения, и что пространство есть не что иное, как частный случай трижды протяженной величины» [101, с. 18].

Этот мемуар посвящен обсуждению метрических свойств n-кратно протяженных величин, и в нем мы еще не находим явного указания на возможность скрытых размерностей реального пространства. Однако здесь проявляется характерное для Римана стремление связать геометрические свойства пространства с эмпирическими данными, ставится вопрос о возможности изменения привычных представлений о нем: «Их правдоподобие (которое, как бы то ни было, очень значительно в пределах наблюдения) надлежит подвергнуть исследованию и затем судить о том, могут ли они быть распространены за пределы наблюдения как в сторону неизмеримо большего, так и в сторону неизмеримо малого» [101, с. 19]. Хотя у Римана речь идет, в основном, о метрических отношениях, такой взгляд на геометрию в совокупности с соседствующим понятием «n-кратно протяженных величин» невольно наводит на мысль о распространении его и на свойство размерности пространства в малом.

4. Эта идея позднее была развита Э. Махом, который в своей криге «Познание и заблуждение» писал: «Но если мы оперируем с абстрактными вещами, как-то атомами и молекулами, которые по самой своей природе своей *не могут быть даны нашим чувствам*, мы не имеем более *никакого* права обязательно мыслить эти вещи в отношениях, в относительных положениях, соответствующих евклидову трехмерному пространству нашего чувственного опыта. (...) Находясь еще под влиянием атомистической теории, я попытался однажды объяснить спектральные

линии газов колебаниями друг относительно друга атомов, входящих в состав молекулы газов. Затруднения, на которые я наткнулся при этом, навели меня в 1863 году на мысль, что *нечувственные* вещи не должны быть обязательно представляемы в нашем *чувственном* пространстве трех измерени. Таким путем я пришел к мысли об аналогах пространства различного числа измерений» [79, с. 417].

В другом месте, обсуждая работы Гербарта, Мах написал пророческие слова: «Ограничение у него конструкции пространства тремя измерениями совершенно лишено основания, и именно на этот пункт следовало бы обратить преимущественное внимание. По истечении целого столетия именно такие вопросы могли бы получить совершенно новую физиономию» [79, с. 446]. Это весьма примечательное высказывание, если иметь в виду современные исследования по многомерным единым теориям физических взаимодействий. Конечно, сейчас необходимо учитывать разницу в уровне знаний XIX века и рубежа XX и XXI веков и вносить поправки в утверждения о ненаблюдаемости атомов и молекул. Соображения Маха о многомерном способе описания атомов теперь можно распространить и на элементарные частицы.

5. Следует отметить, что Э. Мах как исследователь формировался под влиянием немецкой физической школы, доминировавшей в мировой физике середины XIX века. Подобные взгляды на размерность пространства высказывались тогда рядом представителей этой школы, к которой примыкали Б. Риман и К. Гаусс. Так, К. Ф. Целльнер в своем сочинении «Электродинамическая теория материи» выдвинул гипотезу, «согласно которой многие явления, для которых физика еще не нашла адекватного объяснения, на самом деле происходят в четырехмерном мире. При этом наши органы чувств фиксируют своего рода проекцию „четырехмерных процессов на трехмерный мир“» (цит. по [14, с. 244]). Целльнер ссылался на работы Римана и к четырехмерным процессам относил не только гравитационные и электрические взаимодействия, но и спиритические явления.

6. В трудах Феликса Клейна 90-х годов XIX века была высказана идея, которая найдет свое воплощение в работах ряда физиков XX века:«Каждая механическая задача о движении материальной точки с помощью пространства высшего числа измерений может быть сведена к определению пути светового луча, проходящего в соответствующей среде» (цит. по [104, с. 11]). Как писал Ю. Б. Румер: «В примечании Клейн указывает, что в лекциях, читанных в 1891 году в Геттингене, он вывел всю теорию Гамильтона—Якоби из системы квазиоптических представлений в пространстве высшего числа измерений. Десять лет спустя он с горечью отмечает, что эти идеи, изложенные на съезде естествоис-

пытателей в Галле „не встретили того общего признания, на которое я рассчитывал“» [104]. Спустя полстолетия на идеи Ф. Клейна опирался Ю. Б. Румер.

7. Идея многомерия оказалась необходимой для создания специальной теории относительности, но не в духе увеличения числа пространственных измерений, как это мыслилось в XIX веке, а в виде объединения трех пространственных и одного временного измерения в рамках одного 4-мерного многообразия.

8. Можно полагать, что для развития идеи о многомерности пространства-времени оказалась важной попытка Г. Нордстрема в 1914 году построить единую 5-мерную теорию гравитации и электромагнетизма в плоском пространстве-времени специальной теории относительности. Эта теория оказалась несостоятельной из-за того, что с ее помощью не удалось объяснить эффект отклонения света, проходящего вблизи Солнца. Однако неудачи в теоретических построениях такого рода нельзя судить слишком строго. Пусть теория Нордстрема оказалась ошибочной, но содержащаяся в ней идея перехода к 5-мерному пространству-времени была плодотворной. Возможно, именно эта работа послужила звеном между идеями Маха и классической работой Калуцы.

8.2. Суть 5-мерной теории Калуцы и ее «чудеса»

В 1919 году сразу же после создания общей теории относительности Теодор Калуца предложил геометризовать электромагнитное поле в духе эйнштейновской теории тяготения посредством увеличения в ней числа пространственных координат на единицу. По сути дела был сделан по ступеням размерности следующий шаг от теоремы Пифагора и ее обобщений, о которых говорилось в разд. 7.2. В упомянутой работе Нордстрема была увеличена размерность на единицу (до пяти) плоского пространства-времени, а в работе Калуцы, опубликованной в 1921 году[1], оно было искривлено.

[1] Известно, что первый вариант статьи Т. Калуцы был прислан на отзыв А. Эйнштейну в начале 1919 года. Эйнштейн в своем письме Калуце писал 21 апреля 1919 года: «Сама идея, что величины электрического поля взаимосвязаны (...) также часто и неизменно занимали меня. Однако мысль, что это может быть достигнуто посредством введения 5-мерного цилиндрического мира никогда не приходила мне в голову и кажется совершенно новой. Ваша идея мне сразу очень понравилась...» (цит. по [25, с. 65]). Однако у Эйнштейна были замечания и вопросы по работе (которые, кстати сказать, стояли перед физиками в течение нескольких последующих десятилетий). Эйнштейн дал добро на публикацию статьи Калуцы лишь спустя два с половиной года. Она была опубликована в конце 1921 года [56].

Основная идея Калуцы состояла в переходе от 4-мерной римановой геометрии к 5-мерной, когда квадрат интервала представляется в виде

$$ds^2 \to dI^2 = G_{AB}dx^A dx^B \quad (A, B = 0, 1, 2, 3, 5), \tag{8.2.1}$$

где G_{AB} — 5-мерный метрический тензор, имеющий теперь уже 15 компонент. Десять компонент с 4-мерными индексами соответствуют метрическому тензору $g_{\mu\nu}$ эйнштейновской теории гравитации, а четыре дополнительные компоненты $G_{5\alpha}$ Калуца предложил отождествить с компонентами электромагнитного векторного потенциала

$$A_\alpha = \frac{c^2}{2\sqrt{G}} G_{5\alpha}. \tag{8.2.2}$$

Здесь c — скорость света, G — ньютоновская гравитационная постоянная, греческие индексы, как и ранее пробегают четыре заначения: 0, 1, 2, 3. Таким образом, одной и той же тензорной величиной G_{AB} описывалось как эйнштейновское гравитационное, так и максвелловское электромагнитное взаимодействия, т. е. полагалось

$$G_{AB} = \left(\begin{array}{cccc|c} G_{00} & G_{01} & G_{02} & G_{03} & G_{05} \\ G_{10} & G_{11} & G_{12} & G_{13} & G_{15} \\ G_{20} & G_{21} & G_{22} & G_{23} & G_{25} \\ G_{30} & G_{31} & G_{32} & G_{33} & G_{35} \\ \hline G_{50} & G_{51} & G_{52} & G_{53} & G_{55} \end{array}\right) \to \left(\begin{array}{c|c} g_{\alpha\beta} & A_\alpha \\ \hline A_\beta & G_{55} \end{array}\right). \tag{8.2.3}$$

Еще одна, 15-ая компонента $G_{55} = -\varphi^2$ может соответствовать дополнительному геометрическому скалярному полю.

Но объявить о данной физической интерпретации компонент метрики мало, — это еще нужно обосновать, что и было сделано посредством обобщения уравнения Эйнштейна (7.2.9) на случай 5-мерного пространства-времени. Анализ показал, что предложенная Калуцей 5-мерная теория опирается на три основных положения. Во-первых, это уже отмеченный факт увеличения размерности от четырех до пяти. Во-вторых, нужно было допустить, что пятое измерение существенно отличается от четырех классических. В частности, это заключается в независимости всех компонент 5-мерной метрики G_{AB} от пятой координаты. Это так называемое *условие цилиндричности* по x^5. В-третьих, оказалось необходимым разработать специальные методы проецирования 5-мерных величин и соотношений на классическое 4-мерное пространство-время, аналогично тому, как для физической интерпретации общей теории относительности нужно было использовать методы задания системы отсчета, т. е. проецирования на 3-мерное пространство.

У Калуцы еще не было такой корректно разработанной методики, она появилась позже. А тогда эта задача была решена, если можно так сказать, в первом приближении. Но, тем не менее, Калуцей были получены чрезвычайно важные результаты, которые в литературе часто именуют «чудесами Калуцы»:

1) Оказалось, что пятнадцать 5-мерных уравнений Эйнштейна распадаются на систему из десяти обычных 4-мерных уравнений Эйнштейна, на четыре уравнения Максвелла (из второй пары уравнений) и остается еще одно («лишнее») уравнение для скалярного поля.
2) В десяти 4-мерных уравнениях Эйнштейна, записанных для 5-мерного вакуума (электровакуума), автоматически возникает тензор энергии — импульса электромагнитного поля, который в теории Эйнштейна приходилось вводить в правую часть волевым образом. При этом из принципа соответствия со стандартной теорией следовал вывод, что координата x^5 обязательно должна быть пространственноподобной. Таким образом, в теории Калуцы речь шла о 4-мерном пространстве, существование которого пророчески предсказывалось рядом гипотез XIX века.
3) Четыре из пяти 5-мерных уравнений геодезической (экстремальной) линии (непосредственного обобщения уравнений (7.2.8)) совпадают с известными 4-мерными уравнениями движения заряженной частицы в гравитационном и электромагнитном полях, если предположить, что пятая компонента 5-мерной скорости имеет смысл отношения электрического заряда q частицы к ее массе m

$$\frac{dx^5}{ds} = -\frac{2}{\sqrt{G}}\frac{q}{m}, \tag{8.2.4}$$

а пятая компонента импульса с точностью до коэффициента приобретает смысл электрического заряда $p^5 = mdx^5/ds = -(2\sqrt{G})q$. Пятое уравнение геодезической линии тогда означает постоянство отношения q/m.
4) Известное в электродинамике калибровочное преобразование электромагнитного потенциала

$$A'_\alpha \to A_\alpha + \frac{\partial f}{\partial x^\alpha}$$

оказывается обусловленным допустимыми преобразованиями пятой координаты:

$$x'^5 = x^5 + f(x^0, x^1, x^2, x^3). \tag{8.2.5}$$

Таким образом, история преподнесла физикам любопытный урок. Большинство предшествующих мыслителей полагали, что сначала удастся обнаружить проявление дополнительной размерности непосредственно через координату x^5. Э. Мах и другие размышляли о ее возможном физическом смысле. Но, оказалось, что пятое измерение проявилось не через координату, а через дополнительные компоненты 5-мерного метрического тензора $G_{5\mu} \to A_\mu$. Потом был осознан физический смысл пятой компоненты $p_5 \to q$ импульса, и только затем стали делать выводы о природе пятой координаты.

Оказалось, что в дополнение к условию цилиндричности метрики по x^5 следует постулировать замкнутость мира по пятой размерности с очень малым периодом

$$T = 2\pi\alpha^{-1} = 4\pi\sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}}\sqrt{\frac{\hbar c}{e^2}} \approx 10^{-31}\,\text{см}. \tag{8.2.6}$$

лишь на порядок (на множитель — корень из постоянной тонкой структуры), отличающийся от планковской длины $l_{pl} = \sqrt{\hbar G/c^3}$. Говорят, что *мир компактифицирован по пятой координате*. Это проявляется в том, что все физические поля Ψ, описывающие заряженные частицы, следует полагать циклически зависящими от x^5, т. е. в виде

$$\Psi \sim \exp(i\alpha\varepsilon_5 x^5) = \exp\left(\frac{i}{\hbar}\frac{ec}{2\sqrt{G}}\varepsilon_5 x^5\right), \tag{8.2.7}$$

где e — электрический заряд электрона, ε_5 — целочисленная гармоника, определяющая заряд частицы q в единицах e: $q = \varepsilon_5 e$. По этой причине во всех известных уравнениях не проявляется зависимость от пятой координаты, — по ней происходит усреднение.

8.3. Необычность дополнительных координат, или Почему классическое пространство-время четырехмерно?

Следует более подробно остановиться на принципе выделенности (необычности) 5-й координаты x^5 (или вообще всех дополнительных координат). Для этого обратим внимание на известный факт: все классические физические поля — ньютоновское гравитационное, кулоновское электрическое, магнитное, производимое магнитным зарядом, взаимодействия проводников с током в законе Био—Савара—Лапласа — обязательно убывают обратно пропорционально квадрату расстояния. Спрашивается, почему такие разные силы ведут себя одинаково? На это об-

ратил внимание еще И. Кант, который правильно связал это обстоятельство с 3-мерностью классического пространства. Он же отметил, если бы наше пространство было n-мерным, то силы и их потенциалы убывали бы по законам:

$$F \sim \frac{1}{r^{n-1}}; \quad \varphi \sim \frac{1}{r^{n-2}}. \tag{8.3.1}$$

В связи с этим сразу же возникает вопрос о согласовании идеи о многомерности пространства с данным утверждением И.Канта. Нет ли здесь противоречия? Противоречие несомненно было бы, если бы в 5-мерной теории Калуцы или в теориях большей размерности дополнительные координаты были бы совершенно равноправными с четырьмя классическими, что исключается a priori. В теории Калуцы это соответствует условию цилиндричности по пятой координате (независимости от x^5). При данном условии компоненты метрического тензора, в некотором смысле являющиеся потенциалами физических полей, убывают обратно пропорционально первой степени от расстояния, что и наблюдается в нашем мире.

Но тогда возникает другой естественный (вполне законный) вопрос: *почему* классических координат только четыре или *почему* классическое пространство 3-мерно, а время одномерно? Заметим, что многие считают, что физика не призвана давать ответы на подобные вопросы и вправе отвечать лишь на вопросы типа: как происходят явления? Вопросы же — почему мир устроен так, а не иначе? — было принято относить к сфере религии или метафизики. Напомним, что в современной физической картине мира факт 4-мерности наблюдаемого классического пространства-времени обычно постулируется. Однако теперь, поскольку фундаментальная теоретическая физика вплотную приблизилась к метафизике, на подобные вопросы призвана отвечать именно физика.

Над вопросом — почему пространство трехмерно, а время одномерно? — в XVIII веке размышляли И. Кант и Ж. Л. Лагранж, в XIX веке его обсуждали Б. Риман, Э. Мах, Г. Грассман. Уже в XX столетии было затрачено много усилий на его решение А. Эйнштейном, П. Эренфестом, А. Эддингтоном и многими другими. Аксиома 4-мерности геометрии нашего мира представлялась одной из наиболее удивительных и загадочных свойств мироздания, и ее пытались объяснить физическими факторами.

Фактически такие исследования свелись к изучению особенностей 4-мерной физической теории по сравнению с мыслимыми теориями в классических многообразиях иной размерности. Задача ставилась следующим образом: выбирался тот или иной фактор (или закон), который,

по мнению авторов, мог в какой-то степени претендовать на фундаментальность, и исследовалось, зависит ли он от размерности многообразия. При этом выделялись те факторы, которые имеют место лишь в пространстве-времени четырех измерений или, по крайней мере, для которых размерность «4» — граничная, начиная или кончая которой эти факторы (или законы) справедливы. В итоге подобных исследований выявилась чрезвычайно любопытная картина уникальности нашего (классического) 4-мерного мира.

1. Как в плоских, так и в искривленных мирах *круговые орбиты тел в центральном гравитационном поле (например, орбиты планет в солнечной системе) неустойчивы в многообразиях с* $n \geq 5$ *и устойчивы при* $n \leq 4$, где n — размерность пространства-времени. Это означает, что при $n > 4$ невозможны долго живущие планетарные системы: небольшие возмущения в них приведут к падению планет на центральное тело (в частности, на Солнце) или к уходу с орбит в бесконечность.

2. *Только в пространстве-времени четырех измерений (и меньше) устойчивы атомы.* В многообразиях большего числа измерений либо вовсе может не оказаться уровней энергии (нет связанных состояний), либо отрицательные уровни простираются до значения, равного минус бесконечности. Последнее означает, что для любого уровня есть еще более низкий. Электроны в таких атомах, излучая, будут бесконечно перескакивать вниз, т. е. не будет стабильных состояний вещества. В таких мирах не могли бы существовать ни планеты, ни тела, ни люди.

3. *Принцип Гюйгенса справедлив лишь в пространствах нечетной размерности* (т. е. четной размерности пространства-времени). Этот принцип, первоначально сформулированный для построения фронта световой волны, в настоящее время имеет несколько формулировок. В математическом плане он означает, что решение задачи Коши для волнового уравнения зависит только от начальных значений функции и ее производных на границе основания $r = x^0$ характеристического конуса, а не от начальных значений внутри этого основания. Именно выполнимость принципа Гюйгенса позволяет принимать четкие световые и радиосигналы.

Отметим, что имеются особенности, выделяющие 3-мерное пространство из всех других мыслимых пространств с нечетной размерностью.

4. *Размерность 4 — наименьшая, начиная с которой общая теория относительности Эйнштейна в вакууме содержательна.* Это означает, что в многообразиях трех или двух измерений уравнения Эйнштейна типа $R_{\mu\nu} = 0$ (в вакууме) уже диктуют плоский характер многообразия.

5. *Размерность четыре является единственной, при которой уравнения Максвелла в вакууме являются конформно инвариантными*, т. е. не зависящими от масштаба длин.

6. *Квантовая электродинамика перенормируема только в пространстве-времени с размерностями* $n \leq 4$. Напомним, что в неперенормируемых теориях возникает бесконечно большое число бесконечных выражений в отличие от перенормируемых теорий, где бесконечных выражений несколько и их можно скомпенсировать, переопределив соответствующие константы.

Этот список особенностей 4-мерия можно существенно продолжить. Более подробно можно ознакомиться с состоянием этого направления исследований в специальных обзорах и книгах (см. [24, 25]).

Перечисленные особенности позволяют почувствовать удивительную уникальность нашего (классического) мира. Однако цель данных исследований состояла не столько в удовлетворении любопытства, сколько в попытке найти физические факторы, которые могли бы заменить простую геометрическую аксиому $n = 4$. Следует признать, что ни требование устойчивости планетных орбит, ни устойчивость атомов, ни справедливость принципа Гюйгенса не могут претендовать на роль более фундаментальной аксиомы (метафизического характера). В рамках физического и геометрического видений мира пока не видно ответа на этот вопрос, но есть возможность на него ответить в бинарной геометрофизике, где учтены достижения реляционного видения мира (см. главу 12).

8.4. Обобщенная «система отсчета» (метод $1 + 4$-расщепления)

Чтобы достаточно полно и строго разобраться в физическом содержании теории Калуцы, необходимо использовать математический аппарат проецирования понятий 5-мерной геометрии на уже ставшее привычным 4-мерное пространство-время. Последнее осуществляется с помощью того же монадного метода, что и в общей теории относительности, только теперь это метод $1 + 4$-расщепления. Поскольку в предыдущей главе он применялся для описания систем отсчета, то в данном случае можно говорить о задании этим методом обобщенной «системы отсчета», соответствующей определению «физической ситуации».

В работе Калуцы еще не было такого метода, поэтому его теория выглядит недостаточно строго. Разработка монадного метода была начата в работах А. Эйнштейна и П. Бергмана 30-х годов [145] именно с целью

усовершенствования 5-мерной теории. Затем этот метод был фактически переложен на 4-мерие (или был «переоткрыт» в рамках 4-мерия как метод 1 + 3-расщепления) для описания систем отсчета в общей теории относительности. Здесь же он был усовершенствован и только потом уже был снова применен для описания многомерных теорий.

В метафизическом плане монадный метод опять выполняет роль обратного перехода от одной обобщенной категории (в данном случае искривленного 5-мерного пространства-времени), объединяющей пространство-время и поля переносчиков взаимодействий, к прежним двум категориям: 4-мерного (искривленного) пространства-времени и вложенного в него электромагнитного поля.

Как и в 4-мерии, монадный метод можно представить в виде четырех составных частей: 1) алгебры, 2) определения монадных физико-геометрических величин (тензоров), 3) задания монадных операторов дифференцирования и 4) записи всех уравнений в монадном виде. Рассмотрим эти части в отдельности.

1. Алгебра. Исходным положением теории является представление компонент 5-мерного метрического тензора в виде

$$G_{AB} = g_{AB} - \lambda_A \lambda_B, \tag{8.4.1}$$

где g_{AB} — метрический тензор 4-мерного пространства-времени (общей теории относительности), а λ_A — 5-мерный вектор — монада в 5-мерном пространстве-времени. В данной теории предлагается использовать лишь величины, спроецированные либо на направление монады λ_A, либо на 4-мерное пространственно-временное сечение, ортогональное направлению монады (пятому направлению). Опуская некоторые математические детали, отметим, что в такой теории 4-мерный метрический тензор и электромагнитный векторный потенциал представляются в более совершенном виде, нежели в (8.2.2) и (8.2.3):

$$g_{\mu\nu} = G_{\mu\nu} + \frac{G_{\mu 5} G_{\nu 5}}{G_{55}}; \quad A_\mu = -\frac{c^2}{2\sqrt{G}} \lambda_\mu = -\frac{c^2}{2\sqrt{G}} \frac{G_{\mu 5}}{G_{55}}, \tag{8.4.2}$$

где греческие индексы, как и ранее в ОТО, пробегают 4 значения: 0, 1, 2, 3.

Заметим, что в теории Калуцы обычно полагают $G_{55} = -1$, тогда формулы для векторных потенциалов в (8.2.2) и (8.4.2) совпадают.

2. Монадные физико-геометрические величины (тензоры), как и в общей теории относительности, строятся из первых производных от составляющих метрического тензора в (8.4.1), при этом можно построить три и только три такие тензорные величины, которые соответ-

ствуют ускорению обобщенной «системы отсчета», ее «угловой скорости вращения» и «деформации». Оказывается, при условиях, наложенных на характер дополнительной размерности (условие цилиндричности и $G_{55} = -1$), обобщенные «ускорение» и «деформация» обращаются в нуль и остается лишь один физико-геометрический тензор, соответствующий обобщенной «угловой скорости вращения» 5-мерной «системы отсчета»:

$$\tilde{\Omega}_{\mu\nu} = \frac{\sqrt{G}}{c^2} F_{\mu\nu} = \frac{\sqrt{G}}{c^2} \left(\frac{\partial A_\nu}{\partial x^\mu} - \frac{\partial A_\mu}{\partial x^\nu} \right), \tag{8.4.3}$$

который с точностью до размерного коэффициента имеет физический смысл тензора напряженности электромагнитного поля.

3. Операторы монадного дифференцирования вводятся как такие комбинации из частных производных и составляющих метрического тензора, которые остаются инвариантными (неизменными) при произвольных преобразованиях пятой координаты и изменяются по обычному тензорному закону при 4-мерных преобразованиях общей теории относительности. 4-Мерным операторам частного дифференцирования соответствуют монадные операторы вида

$$\frac{\partial}{\partial x^\mu} \to \partial^\dagger_\mu = \frac{\partial}{\partial x^\mu} - \frac{G_{5\mu}}{G_{55}} \frac{\partial}{\partial x^5} = \frac{\partial}{\partial x^\mu} + \frac{2\sqrt{G}}{c^2} A_\mu \frac{\partial}{\partial x^5}. \tag{8.4.4}$$

Как уже отмечалось, в 5-мерной теории волновые функции электрически заряженных полей зависят от пятой координаты, причем циклическим образом, согласно (8.2.7). Подставляя (8.2.7) в (8.4.4), автоматически приходим к удлиненным производным (3.5.4) калибровочной теории электродинамики в физическом видении мира. При этом гармоника ϵ_5 в экпоненциальной зависимости волновых функций от x^5 имеет смысл электрического заряда поля Q в единицах заряда электрона e:

$$\epsilon_5 = Q \;\to\; \epsilon_5 e = Qe \equiv q. \tag{8.4.5}$$

Таким образом, *в геометрическом миропонимании электромагнитное поле вводится из принципиально иных соображений, нежели при калибровочном подходе физического миропонимания, однако итоговые выражения совпадают друг с другом.*

4. Запись соотношений 5-мерной теории в монадном виде. Именно в такой форме пятнадцать 5-мерных уравнений Эйнштейна разбиваются на десять 4-мерных тензорных уравнений Эйнштейна, четыре векторных 4-мерных уравнения Максвелла и еще одно скалярное уравнение типа Клейна—Фока, о чем говорилось в первом из «чудес» Калуцы.

Следует подчеркнуть, что в рамках теории Калуцы имеет место принцип общей ковариантности относительно преобразований четырех классических координат, о котором говорил Эйнштейн при обсуждении оснований своей теории. Вся же теория оказывается инвариантной относительно преобразований пятой координаты. Семейство оставшихся преобразований четырех классических координат с участием пятой означают переход к иной обобщенной «системе отсчета», т. е. изменяют характер физической ситуации.

Поясним это на примере. В теории Калуцы найдено сферически-симметричное решение 5-мерных уравнений Эйнштейна, похожее на обсужденное ранее решение Шварцшильда (7.4.1). В нем нет электромагнитного поля, а центральный источник не имеет электрического заряда. Стоит только произвести названное преобразование классических координат с участием 5-й координаты, как названное решение изменяется: центральный источник в нем приобретает электрический заряд и вокруг него возникает радиальное кулоновское электромагнитное поле. Такой переход к иной физической ситуации можно уподобить в 4-мерной общей теории относительности переходу во вращающуюся систему отсчета.

Заметим, что аналогичная, чрезвычайно важная роль обобщенной «системы отсчета» (или метода $4+1+\ldots$-расщепления) проявляется и во многомерных теориях больших размерностей.

8.5. Развитие 5-мерной теории

Рассмотрим, как развивалась идея о 5-мерии мира после работы Калуцы.

В середине 20-х годов к идеям, близким теории Калуцы, независимо пришел российский физик-теоретик из Петрограда Г. А. Мандель. В отличие от Калуцы, он считал, что мир представляет собой плоское 5-мерное многообразие, в которое вложен наблюдаемый мир в виде искривленной (римановой) 4-мерной гиперповерхности. Им были записаны уравнения движения заряженных частиц в виде 4-мерной части 5-мерных уравнений геодезической и указано, что пятая компонента 5-мерной скорости имеет физический смысл отношения электрического заряда частицы к ее массе. В его трудах можно усмотреть ряд элементов монадного метода $1+4$-расщепления.

Заметим, что идею о 5-мерии физического мира российские физики-теоретики, в том числе и В. А. Фок, восприняли от Манделя и сразу же приступили к ее развитию. Так, с весны 1926 до весны 1927 года появилось сразу несколько работ по возможной связи 5-мерии с квантовой

механикой, написанных Г. А. Манделем, В. А. Фоком, Г. А. Гамовым совместно с Д. Д. Иваненко, В. К. Фредериксом.

В 20-х годах 5-мерную единую теорию гравитации и электромагнетизма развивали вслед за Калуцей Л. де Бройль, А. Эйнштейн и ряд других исследователей. Так, в статье Л. де Бройля обсуждался вопрос об отождествления компоненты метрики $G_{5\mu}$ с электромагнитным векторным потенциалом при отличной от минус единицы 15-й компоненты метрики G_{55}. Работы А. Эйнштейна этого периода отражают его мучительные колебания в выборе пути геометризации электромагнитизма либо вслед за Г. Вейлем в рамках обобщенной (неримановой) 4-мерной геометрии, либо вслед за Калуцей на основе 5-мерной римановой геометрии.

Особо следует остановиться на работах 1926 года, выполненных Оскаром Клейном и В. А. Фоком. В них идеи 5-мерии были применены для описания другого физического аспекта. Они обобщили релятивистское волновое уравнение для массивной частицы на случай 5-мерной теории, предложив вводить массу покоя частиц посредством дифференцирования ее волновой функции по 5-й координате. Так было впервые получено волновое уравнение для скалярных частиц, обычно именуемое как уравнение Клейна—Гордона. Как уже отмечалось, правильнее его называть уравнением Клейна—Фока или Клейна—Фока—Гордона.

Названными авторами было предложено понимать уравнение для (скалярной) волновой функции $\Phi(x^A)$ частиц как уравнение 5-мерной оптики

$$G^{AB}\frac{\partial\Phi}{\partial x^A}\frac{\partial\Phi}{\partial x^B}=0, \quad (A,B=0,1,2,3,4) \tag{8.5.1}$$

где постулировалась следующая зависимость 5-мерной волновой функции от дополнительной координаты x^4:

$$\Phi(x^0,x^1,x^2,x^3,x^4)=\varphi(x^0,x^1,x^2,x^3)\exp\left(\frac{imcx^4}{\hbar}\right)\equiv$$
$$\equiv\varphi(x^\mu)\exp(i\beta x^4). \tag{8.5.2}$$

Здесь $\varphi(x^\mu)$ — стандартная 4-мерная волновая функция частиц. В уравнении (8.5.1) метрика G^{AB} может быть как искривленной, так и плоской. В последнем случае это уравнение превращается в общеизвестное релятивистское уравнение Клейна—Фока (4.2.1):

$$\left[\Box+\left(\frac{mc}{\hbar}\right)^2\right]\varphi(x^\mu)=0. \tag{8.5.3}$$

В (8.5.2) опять введена циклическая зависимость от дополнительной координаты, однако она отличается от зависимости (8.2.7) в 5-мерной тео-

рии Калуцы. По этой причине дополнительная координата теперь названа x^4. Таким образом, можно утверждать, что серия работ О. Клейна, В. А. Фока и ряда других авторов представляет собой *иную ветвь многомерных исследований, нацеленных не на объединение физических взаимодействий, а, главным образом, на описание масс покоя частиц.* Данный факт нужно иметь в виду, поскольку сейчас в литературе многомерные геометрические модели физических взаимодействий именуются теориями Калуцы—Клейна.

В начале 30-х годов одной из важнейших проблем теоретической физики считался поиск единой теории гравитации и электромагнетизма. Наряду с геометрическими вариантами в рамках 4-мерия (теории Г. Вейля, А. Эддингтона и др.) подробно анализировалась 5-мерная теория. Предпринимались настойчивые попытки преодолеть недостатки ее первых вариантов, в частности, старались выяснить физический смысл 5-й координаты или обосновать причины ее отсутствия в используемых уравнениях.

Среди наиболее интересных результатов следует выделить два. Первый был получен в работах А. Эйнштейна и П. Бергмана [145] и А. Эйнштейна, В. Баргмана и П. Бергмана. Он состоит в ослаблении условия цилиндричности (независимости) метрики по пятой координате. Вместо него было предложено уже упомянутое выше условие периодичности (цикличности) по x^5. Именно от этих работ возникли представления о замкнутости (компактифицированности) мира по 5-й координате с очень малым периодом по сравнению с макроскопическими масштабами.

Второй результат также связан с поиском обоснования ненаблюдаемости 5-й координаты. Он состоит в построении проективного варианта 5-мерии и начал развиваться с работ О. Веблена и Б. Гофмана. Было предложено описывать 4-мерное многообразие посредством пяти однородных координат. На основе понятия проектора Д. ван Данцигом была создана проективная дифференциальная геометрия. Затем И. Схоутен и ван Данциг применили этот математический аппарат для построения *проективной теории гравитации и электромагнетизма.* Некоторым промежуточным итогом явились работы по проективному формализму В. Паули, в которых введен ряд упрощений и сделана попытка учета спинорных полей.

После этих работ сложились *три ветви развития 5-мерных теорий*: первая — вслед за Калуцей — была нацеленна на объединение гравитации и электромагнетизма (с условием цилиндричности или цикличности по 5-й координате), вторая продолжала работы Ф. Клейна, О. Клейна и В. А. Фока по геометризации массы, но затронула и проблему объеди-

нения двух названных взаимодействий и третья — проективный вариант 5-мерия. В дальнейшем В. Паули показал, что между первой (с условием цилиндричности по x^5) и третьей ветвями пятимрности можно установить взаимно однозначное соответствие, позже оказалось, что первая ветвь предоставляет больше возможностей для последующих обобщений теории.

В 20-х — 30-х годах возлагались слишком большие надежды на исследования в рамках геометрического миропонимания. Ожидалось, что вот-вот будет построена единая геометрическая теория гравитации и электромагнетизма, которая радикально изменит представления об окружающем мире. Однако время шло, а ожидаемых результатов не было, причем это происходило на фоне бурно развивающейся квантовой теории и физики микромира. Во второй половине 30-х годов эйфория геометризации сменилась резким отторжением всего этого направления исследований.

Известный японский физик-теоретик Р. Утияма так описал атмосферу, сложившуюся вокруг исследований геометрических единых теорий поля: «Все физики мира, особенно юные гении и талантливая молодежь, ставившие своей целью создание и развитие новой науки, сосредоточили внимание на проблемах квантовой физики. Число интересующихся едиными теориями поля все падало, а в конце концов остались всего две-три научные школы, занимавшиеся проблемами общей теории относительности и единой теорией поля. Ею занимались перевалившие на вторую половину жизни старики, а интересующихся этой темой молодых людей «физическое» общественное мнение третировало как оригиналов со странностями, людей не от мира сего... Что бы ни говорили вокруг, а в глубине души я считал себя талантливым, поэтому, разумеется, тоже специализировался на квантовой физике. Но (какое несчастье!) я имел еще интерес к теории относительности и единой теории поля, настолько сильный, что не мог бросить эти занятия. Конечно, заниматься этими вещами открыто, официально означало самому себе наклеить ярлык человека «с приветом», странного оригинала. В то время я был холост, и подобная репутация очень затруднила бы мне вступление в брак. В таких обстоятельствах невозможно было не хранить в глубокой тайне свое увлечение единой теорией поля» [116, с. 110].

Следующий подъем интереса к 5-мерию наблюдался в конце 40-х — первой половине 50-х годов и был связан с иными обстоятельствами. На этот период приходятся работы П. Йордана, который предложил отказаться от условия в 5-мерии $G_{55} = -1$. В итоге получилась теория с дополнительным скалярным полем, которое изучалось в работах

И. Тири, К. Юста, Г. Людвига и других авторов, причем исследования велись в двух ветвях 5-мерии: в первой и третьей. Было рассмотрено взаимодействие скалярного поля с обычными видами материи и были найдены первые сферически-симметричные и космологические решения скалярно-тензорной теории гравитации. Тогда же предпринималась попытка обосновать посредством скалярного поля гипотезу П. Дирака о возможности изменения гравитационной постоянной.

Как уже отмечалось, несколько позже К. Бранс и Р. Дикке, оттолкнувшись от 5-мерия, стали развивать 4-мерную теорию со скалярным полем, известную в литературе под названием скалярно-тензорная теория Йордана—Бранса—Дикке.

Для развития идей многомерия в России большое значение имел цикл работ 50-х годов Ю. Б. Румера, оформленный затем в виде монографии «Исследования по 5-оптике» [104], в которой разрабатывался вариант 5-мерии, соответствующий идее Ф. Клейна конца XIX века, и, в частности, — вторая ветвь 5-мерии, начатая в работах О. Клейна и В. А. Фока. Согласно этой теории, массивные частицы в 4-мерном мире рассматриваются как безмассовые в 5-мерии, т. е. движущиеся по 5-мерным изотропным мировым линиям. Характерной чертой работ Румера является также попытка связать идею Эйнштейна-Бергмана о замкнутости мира по 5-й координате с закономерностями квантовой механики. Известно, что Эйнштейн и Бергман сами не связали замкнутость мира по x^5 с какими-либо определенными физическими обстоятельствами. Румер предложил интерпретировать 5-ю координату как классическое действие, тогда волновые свойства материи (и всю квантовую механику), согласно Румеру, следует понимать как проявление компактифицированного пятого измерения.

После ряда интригующих воображение результатов это направление исследований встретилось с рядом проблем, которые автору преодолеть не удалось.

В конце 50-х и в 60-х годах исследования многомерных теорий опять оказались на заднем плане, хотя окончательно и не прекращались. Заметное внимание этой проблеме уделялось во Франции в группах А. Лихнеровича, М. Тоннеля и других. Особо следует выделить работу И. Сурьо, где рассматривалась зависимость от x^5 всех компонент метрики и волновых функций частиц. Ряд исследований был выполнен в Германии (в ГДР) Э. Шмутцером (в проективном варианте). Интересно отметить, что некоторые авторы (И. Подоланский, Н. Калицин) уже изучали возможности физических приложений многомерных теорий шести и большего числа измерений.

В России (в СССР) серии работ по 5-мерию были выполнены Ю. П. Пытьевым в МГУ и В. И. Родичевым, который предложил описывать электромагнетизм 5-мерным тензором кручения. В исследованиях В. Г. Кадышевского изучались 5-мерные импульсные пространства с целью устранения расходимостей в квантовой теории поля.

Следует отметить еще одно направление, близкое к классической линии Калуцы, но в пространствах 6 измерений. Здесь имеются в виду работы М. Павшича и Р. Л. Ингрэхема второй половины 70-х годов, основанные на обобщении группы конформных преобразований. Уже давно обращалось внимание на то, что уравнения для безмассовых полей в 4-мерном плоском пространстве-времени инвариантны относительно более широкой группы преобразований, нежели 10 параметрическая группа Пуанкаре. Это 15-параметрическая группа конформных преобразований, изоморфная, т. е. эквивалентная, группе вращений 6-мерного многообразия с двумя временно-подобными координатами и четырьмя пространственно-подобными (с сигнатурой $(+---{-}+)$). Переход к шестимерности и его обобщение, аналогичное переходу от группы Лоренца в специальной теории относительности к группе допустимых координатных преобразований в общей теории относительности, лежат в основе упомянутых выше работ.

8.6. Анализ критических замечаний по теории Калуцы

Как уже отмечалось, несмотря на свои достоинства и отмеченные выше «чудеса» Калуцы, 5-мерная теория долгое время не имела всеобщего признания и не была рабочим инструментом физиков. До сих пор сведения о 5-мерной теории не включаются в учебники, как правило, о ней не говорят не только школьникам, но и студентам вузов. Анализ вопроса показывает, что для этого был ряд оснований, главным образом, психологического характера. Перечислим главные претензии к 5-мерной теории, выдвигавшиеся А. Эйнштейном и другими ведущими теоретиками, а также ответы на них с позиций рубежа XX и XXI столетий.

1. *Не был ясен физический смысл 5-й координаты.* Многие теоретики, начиная с Э. Маха [79], понимали дополнительную размерность как обладающую теми же свойствами, что и четыре классические, и пытались подобрать физическую интерпретацию именно под такие представления.

– Научное общественное мнение остановилось на точке зрения, согласно которой дополнительная размерность компактифицирована, т. е. замкнута с очень малым периодом. Именно поэтому 5-я координата (и другие) не наблюдается.

2. *Сомнения вызывало условие цилиндричности компонент 5-мерной метрики по 5-й координате.* Эйнштейн писал: «Условие цилиндричности не является естественным даже формально» [144, с. 367].

– Оказалось, зависимость полей от 5-й координаты означает наличие у них электрического заряда. Условие же цилиндричности компонент 5-мерной метрики G_{AB} по 5-й координате соответствует отсутствию электрического заряда у получаемых из нее полей. Очевидно, что как гравитационное поле (метрика $g_{\mu\nu}$), так и электромагнитное поле (смешанные компоненты 5-мерной метрики) являются электрически нейтральными.

3. Как писал Эйнштейн: «*Не удается физически истолковать компоненту* G_{55}» [144, с. 367].

– Действительно, в 5-мерной теории Калуцы физическое истолкование компоненты метрики G_{55} представляет серьезную проблему. Предлагались следующие пути ее решения:

1) В ряде работ постулировалось, что $G_{55} = -1$, и далее развивалась теорию с помощью вариационного принципа.
2) Многие авторы предлагали считать компоненту G_{55} зависящей от четырех классических координат и интерпретировать ее как пока не обнаруженное дополнительное (безмассовое) скалярное поле геометрического происхождения.
3) Предпринимались попытки с помощью компоненты G_{55} геометризовать электрически заряженную материю, которую в стандартной теории принято вносить волевым образом в правую часть уравнений Эйнштейна.
4) При применении многомерной теории к описанию электрослабых взаимодействий предлагалось описывать через компоненту G_{55} хиггсовское скалярное поле, ответственное в модели Вайнберга—Салама—Глэшоу за возникновение масс элементарных частиц.

4. *Пятнадцатое уравнение Эйнштейна налагало жесткое условие связи между 4-мерной скалярной кривизной* R *и инвариантом электромагнитного поля* $F_{\mu\nu}F^{\mu\nu}$.

– Решение проблемы 15-го уравнения Эйнштейна зависит от выбора одного из перчисленных в предыдущем пункте вариантов интерпретации G_{55}, а именно:
  1) При первой интерпретации 15-е уравнение Эйнштейна отсутствует, так как вариационный принцип применяется к лагранжиану, содержащему лишь 14 независимых величин.
  2) При второй интерпретации 15-е уравнение Эйнштейна является уравнением для геометрического безмассового скалярного поля. В этом случае отсутствует жесткая связь между скалярной кривизной и инвариантом электромагнитного поля.

В вариантах 3) и 4) компонента G_{55} определяет конформный фактор. Вместо 15-го уравнения Эйнштейна вариационным принципом выводится уравнение для соответствующего массивного скалярного поля.

5. В 20-х годах Эйнштейн считал существенным недостатком теории Калуцы *необходимость волевым образом вводить в правую часть электромагнитных уравнений плотности электрического тока внешней материи.*

– Претензии к наличию правой части у 5-мерных уравнений в равной степени относятся и к 4-мерным уравнениям Эйнштейна. Это общее свойство теорий, принадлежащих дуалистической парадигме геометрического видения мира. Впрочем, Эйнштейна не удовлетворял этот факт и в 4-мерной теории.

6. Констатировалось, что в теории получено лишь формальное единство общей теории относительности и электромагнетизма Максвелла. Эйнштейн писал: «Цель Калуцы, несомненно, заключалась в том, чтобы прийти к новому физическому взгляду на гравитацию и электричество путем введения единой структуры пространства. Однако эта цель не была достигнута» [145, с. 497]. В частности, неоднократно отмечалось, что *5-мерная теория не дала каких-либо новых экспериментальных предсказаний.* Получалось только то, что было известно и без 5-мерной теории.

– Вопрос о предсказании новых эффектов в рамках 5-мерной теории опять тесно связан с пониманием скалярного поля. В первом из приведенных выше подходов к компоненте G_{55} высказанное замечание остается в силе. В рамках же второго подхода может быть предсказан ряд возможных эффектов, например, сезонные вариации значений физических констант на Земле [24, с. 80]. В третьем варианте во главу угла ставится принципиальный вопрос о геометризации всей

материи, т. е. речь идет о переходе к экстремальной клиффордовской геометрической парадигме (к монистической метафизической парадигме со стороны геометрического видения мира). Четвертый вариант оказывается тесно связанным с дальнейшим увеличении размерности и с геометризацией модели Вайнберга—Салама—Глэшоу.

7. Одновременно с работами 20-х — 30-х годов по поиску геометрических единых теорий поля интенсивно развивалась квантовая теория. Ощущалась естественная потребность перебросить мостик между этими двумя направлениями исследований. Однако *глубокой связи между геометризацией полей и квантовой теорией в то время не было установлено.*

– Следует заметить, что работы по 5-мерию В. А. Фока и О. Клейна были связаны с написанием волнового (первично квантованного) уравнения Клейна—Фока, т. е. какая-то связь с квантовой механикой была, однако ожидалось значительно большее.

8. *Имелись альтернативные варианты единой теории поля, опирающиеся на обобщения римановой геометрии в рамках 4-мерного пространства-времени.* Среди них наиболее видное место занимала теория Вейля. Эйнштейн писал: «До сих пор были сделаны две наиболее простые и естественные попытки связать гравитацию и электромагнетизм с помощью единой теории поля: одна — Вейлем, другая Калуцей» [145, с. 492]. Не было ясно, какой из этих путей следует предпочесть.

– Проблема выбора между 4-мерной теорией Вейля и теорией Калуцы со временем была решена в пользу теории Калуцы. В теории Вейля встретился ряд трудностей, которые пришлось устранять искусственными методами.

9. В последующие годы были развиты теории слабых и сильных взаимодействий. Стали говорить о четырех видах физических взаимодействий. *5-Мерная теория претендовала на геометризацию лишь гравитации и электромагнетизма и не затрагивала слабые и сильные взаимодействия.* Это рассматривалось как существенный недостаток 5-мерной теории. Не видя путей преодоления этой трудности, в середине 70-х годов стал терять веру в многомерие даже такой его стойкий приверженец, как Ю.Б.Румер. Буквально за несколько лет до возрождения идей многомерия он написал:«Однако такого рода попытки (построения 5-мерной теории — Примеч. Ю. В.) не дали никаких существенно новых результатов. Этот путь объединения имел бы некоторый смысл в тот давно уже прошедший период физики, когда из семейства зарядов был

известен лишь электрический заряд. Но в связи с открытием в последние годы новых зарядовых величин и соответствующих этим величинам законов сохранения надежда на развитие 5-мерных теорий должна быть оставлена. На этом пути в лучшем случае можно прийти к чисто внешнему, механическому объединению электромагнетизма и тяготения, но нет надежды получить органическое объединение, дающее возможность предсказывать какие-либо новые наблюдаемые электрогравитационные эффекты.» [105, с. 118].

– В 80-х годах было осознано, что многомерные модели типа теории Калуцы пригодны для описания не только электромагнитного, но и других взаимодействий, например, электрослабого. Для этого необходимо увеличить размерность пространства-времени, как минимум, до шести. Это стало ясно, после того как в рамках калибровочного подхода (физического видения мира) было показано, что другие физические взаимодействия переносятся промежуточными векторными бозонами.

10. В более поздних вариантах 5-мерной теории Калуцы была введена циклическая зависимость заряженных полей от 5-й координаты. При этом использовались лишь низшие гармоники такой зависимости. Возникали вопросы, во-первых, *обоснования циклической* зависимости и, во-вторых, *интерпретации частиц с более высокими гармониками.*

– Это замечание о циклическом характере зависимости заряженных полей от дополнительных координат в многомерных теориях Калуцы и Клейна обычно связывается с топологией компактифицированных размерностей.

11. В теории Калуцы естественным образом появляются значения масс, порядка планковской массы. При желании описывать реальные элементарные частицы *встает проблема перенормировки планковских масс до экспериментально известных значений.*

– Этот вопрос имеет геометрическое решение в рамках геометрического подхода, например, при использовании специальных видов многомерной геометрии с кручением.

Можно назвать и некоторые другие вопросы к 5-мерной теории и привести соответствующие разъяснения.

Таким образом, *практически все перечисленные выше претензии к 5-мерной теории Калуцы (в первой ветви развития многомерия) носили либо психологический характер, связанный с трудностями признания новых размерностей и следствий из них, либо были обращены*

именно к теориям пяти измерений, а нужно было дальше шагнуть по ступеням размерности. При еще большем увеличении размерности некоторые из названных претензий автоматически снимались или без труда преодолевались.

Но все это стало понятным значительно позже, а в условиях 30-х — 60-х годов, в отсутствие предсказаний новых эффектов, когда параллельно развивалась квантовая теория, ядерная физика, трудно было защищать теорию 5-мерия. Ее немногочисленные сторонники выглядели порой воистину как мученики веры. Так было на Западе, но особенно трудно им было в нашей стране. «Пятой ногой» обзывали одного из первых отечественных энтузиастов 5-мерия Г. Манделя. Много насмешек перенес самый стойкий в нашей стране сторонник 5-мерия Ю. Б. Румер. По свидетельству его коллег, вера в 5-мерие помогла ему пройти через сталинские лагеря и шарашки. Другой отечественный физик-теоретик В. И. Родичев благодаря вере в идеи многомерия пережил фашистские концлагеря. Многим известно, как трудно было публиковать работы по 5-мерию в 60-х — 70-х годах. Даже в конце 70-х годов, когда готовилось издание юбилейного сборника, посвященного 100-летию со дня рождения А. Эйнштейна, некоторые авторитетные отечественные физики-теоретики резко возражали против включения в него перевода статьи Т. Калуцы по 5-мерию[1].

8.7. Возрождение концепции многомерия

История исследований в области многомерия стала поучительным свидетельством того, как разработка принципиально важного направления (в данном случае в рамках метафизической парадигмы геометрического миропонимания) на долгое время была практически приостановлена. Ниже мы остановимся на аналогичной судьбе исследований в рамках другой метафизической парадигмы, но уже реляционного миропонимания.

В последней четверти XX века идея о многомерности физического пространства-времени опять оказалась в центре внимания физиков-теоретиков всего мира (см., например, [131]). Этому способствовал ряд обстоятельств. Перечислим главные из них.

[1] Автор этой книги был редактором-составителем юбилейного сборника «Альберт Эйнштейн и теория гравитации» (М.: Мир. 1979 г). Несмотря на возражения, статья Калуцы была включена в сборник. А в самом начале 80-х годов до нашей страны докатился бум мировых исследований по многомерию и журналы запестрели работами по теории Калуцы—Клейна.

1. В 70-х годах были получены *новые результаты о природе слабых взаимодействий*. До этого полагалось, что они не затрагиваются 5-мерной теорией и имеют контактный характер (происходят в одной точке) в отличие от электромагнитного взаимодействия, переносимого векторным полем A_μ. Как уже отмечалось в главе 3, в конце 50-х годов была выдвинута идея, что слабые взаимодействия описываются произведением двух токов (из векторной и псевдовекторной частей). Взаимодействие частиц через токи навело на мысль об аналогии с электромагнитным взаимодействием, где между токами имеется поле — векторный переносчик взаимодействия. В повестку дня был поставлен вопрос о поиске специальных векторных полей, переносящих слабое взаимодействие между токами. Вскоре эти поля — нейтральные Z-бозоны и заряженные W-бозоны — были найдены.

Аналогия с электромагнитным взаимодействием заставила вспомнить опыт построения 5-мерной геометрической теории Калуцы, где новая размерность позволяла ввести в теорию дополнительное векторное поле. Это привело к мысли о перспективности описания геометрическим способом и электрослабых взаимодействий, только теперь, поскольку промежуточных векторных полей больше, нужно было использовать пространство-время большей размерности. Тогда многомерный метрический тензор G_{MN} будет иметь большее число компонент, которыми (их смешанными компонентами $\lambda_\alpha, \sigma_\alpha, \ldots$) по аналогии с (8.2.3) можно описать векторные потенциалы переносчиков соответствующих взаимодействий:

$$G_{MN} = \left(\begin{array}{c|c|c|c} G_{\alpha\beta} & G_{\alpha 5} & G_{\alpha 6} & \cdots \\ \hline G_{5\beta} & G_{55} & G_{56} & \cdots \\ \hline G_{6\beta} & G_{65} & G_{66} & \cdots \\ \hline \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \end{array}\right) \to \left(\begin{array}{c|c|c|c} g_{\alpha\beta} & \lambda_\alpha & \sigma_\alpha & \cdots \\ \hline \lambda_\beta & G_{55} & G_{56} & \cdots \\ \hline \sigma_\beta & G_{65} & G_{66} & \cdots \\ \hline \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \end{array}\right). \quad (8.7.1)$$

Это основная идея многомерных геометрических моделей физических взаимодействий типа теории Калуцы. Однако выяснилось, что имеется ряд возможностей практической реализации этой идеи. Выбор разных путей развития теории зависит от мировоззрения исследователей, от поставленных ими целей.

2. Примерно в это же время *изменились представления и о сильных взаимодействиях*. На смену идеи Юкавы о переносе сильных взаимодействий скалярными мезонными полями пришли идеи хромодинамики, согласно которым сильные взаимодействия переносятся векторными полями — глюонами. Это означало, что методы построения многомер-

ных геометрических моделей можно применить и к описанию сильных взаимодействий.

3. В 70-х годах *интерес к многомерию возник также в связи с развитием теории калибровочных полей*, предложенной Янгом и Миллсом. Довольно быстро было осознано, что многомерные теории типа Калуцы—Клейна можно понимать как геометризацию калибровочных полей, т. е. что в ряде отношений эти два вида теорий представляют собой два разных языка, описывающих одну и ту же физическую реальность.

Но имеется и существенное различие, — геометрические представления всегда рассматривались как более фундаментальные, нежели обычно используемые физиками приемы и конструкции. Математику Манину приписываются слова: «Геометрия — это консервант скоропортящихся физических идей». Начались исследования способов геометризации калибровочных теорий с различными группами внутренних симметрий. Здесь был быстро преодолен барьер ограничений пятью измерениями. Широко стали использоваться многообразия большого числа измерений с различными топологиями.

4. Следующей причиной интереса к идеям многомерия явились *исследования суперсимметричных теорий и теории супергравитации*. В основе этого направления лежит найденная к тому времени группа суперсимметричных преобразований, перемешивающая компоненты фермионных и бозонных полей (см. разд. 4.7). Как уже отмечалось, в такой теории используются величины, зависящие как от четырех классических координат, так и от дополнительных переменных, являющихся элементами алгебры Грассмана. Стало ясно, что данный прием в некотором смысле равносилен увеличению размерности используемого многообразия, где дополнительные размерности имеют неклассический характер. Более того, было показано, что решение ряда вопросов теории супергравитации может быть облегчено использованием геометрических методов и многообразий размерности $n > 4$. В частности, таким образом разрабатывался вариант так называемой максимально расширенной супергравитации ($N = 8$). Оказалось, что максимальное число измерений многообразия, из которого после размерной редукции (перехода к 4-мерию) получается разумная с точки зрения феноменологии теория, равно 11.

5. Имелся и ряд внутренних причин. К 80-м годам *значительно возрос уровень математических средств*, используемых в исследованиях по многомерию. Стали широко применяться групповые методы расщеплений многомерных теорий и их редукций на 4-мерие, использовались

более совершенные методы получения решений уравнений Эйнштейна. Возникло естественное желание применить методы 4-мерной общей теории относительности для решения многомерных обобщений уравнений Эйнштейна.

Знаменательно, что из названных обстоятельств первые четыре возникли в недрах исследований физического миропонимания, но инициировали интерес к альтернативному геометрическому миропониманию.

8.8. 7-Мерная геометрическая модель грави-электрослабых взаимодействий

Увеличивая размерность искривленного пространства-времени, можно построить геометрическую модель, объединяющую эйнштейновскую общую теорию относительности с моделью электрослабых взаимодействий Вайнберга—Салама—Глэшоу. Охарактеризуем ее наиболее существенные черты.

1. Для решения данной задачи оказалось необходимым увеличить размерность пространства-времени на три единицы, т. е. *минимальная размерность*, где это возможно сделать, *семь* [24, 27]. Это диктуется двумя факторами.

Во-первых, нужно было описать два типа зарядов, характеризующих электрослабые взаимодействия в модели Вайнберга—Салама—Глэшоу. Напомним, что таковыми являются гиперзаряд Y и проекция изотопического спина T_3. Из них получаются электрические заряды Q в единицах e. Двум зарядам соответствуют две константы взаимодействий g_1 и g_2, из которых получаются значение e и другие заряды. Уже 5-мерная теория Калуцы показала, что в многомерной теории заряды с точностью до коэффициента имеют смысл импульсов по дополнительным координатам. Это диктует использование двух дополнительных размерностей. Обозначим соответствующие им две координаты посредством x^5 и x^6.

Во-вторых, необходимо описать массы частиц. Масса выступает как еще один — гравитационный — заряд. Ее предлагается ввести так, как это делалось в 5-мерной теории в варианте Клейна—Фока. Итого, получаются 3 дополнительные размерности.

2. В 7-мерной геометрической модели в качестве исходных выражений выбираются не многомерные уравнения Эйнштейна, а так называемая *гиперплотность лагранжиана*

$$\tilde{\mathcal{L}} = \frac{\sqrt{G^{(7)}}}{2}\left[-\frac{1}{\varkappa c}R^{(7)} + i(\hbar c)\overline{\Psi}\Gamma^M\nabla_M\Psi + (h.c.)\right], \qquad (8.8.1)$$

составленная из геометрической части (плотности 7-мерной скалярной кривизны $R^{(7)}$) и вклада внешней спинорной материи (физической части — от спинорных частиц, описываемых обобщенными волновыми функциями Ψ). Здесь вместо частных или удлиненных производных, стоящих в аналогичных формулах физического видения мира, стоит геометрическая (ковариантная) производная, обозначенная символом набла. Кроме того, здесь вместо 4-мерных (4-компонентных) матриц Дирака γ_μ введены 7-мерные (8-компонентные) матрицы Γ_M. Под корнем стоит определитель 7-мерного метрического тензора $G^{(7)}$.

3. Для превращения многомерных геометрических величин и выражений, входящих в (8.8.1) и в прочие соотношения, необходимо перейти к привычным 4-мерным понятиям общей теории относительности и стандартной модели Вайнберга—Салама—Глэшоу. Для этого нужно использовать методику описания обобщенных «систем отсчета», позволяющую осуществить процедуру $1+1+1+4$-расщепления исходного 7-мерного многообразия, что делается с помощью уже не монадного, а *триадного метода*, представляющего собой трехкратное применение монадного метода. При этом компоненты 7-мерного метрического тензора представляются в виде, обобщающем (8.4.2):

$$G_{MN} = g_{MN} - \xi_M \xi_N - \lambda_M \lambda_N - \sigma_M \sigma_N, \tag{8.8.2}$$

где три 7-мерных вектора триады ξ_M, λ_M, σ_M характеризуют три дополнительные пространственно-подобные направления, ортогональные классическому 4-мерному пространственно-временному сечению с метрическим тензором $g_{\mu\nu}$.

В такой теории, как и в случае монадного метода в 5-мерии, используются лишь величины, спроецированные на направления триады или на 4-мерное пространство-время. 7-Мерная скалярная кривизна в (8.8.1) расщепляется на 4-мерную скалярную кривизну, описывающую гравитацию, и на дополнительные слагаемые, содержащие три 7-мерные вектора триады из (8.8.2), которые соответствуют лагранжиану векторных полей переносчиков взаимодействий в момодели Вайнберга—Салама—Глэшоу.

4. В 7-мерной теории возникает принципиально новый момент по сравнению с общей теорией относительности и 5-мерной теорией Калуцы, — необходимо ввести зависимость компонент 7-мерной метрики от дополнительных координат (нарушение условий цилиндричности) и допустить комплексность некоторых компонент метрики. Последнее обусловлено тем, что в этой теории через дополнительные компоненты метрики описываются также заряженные векторные $W^{\pm}$-бозоны (и заря-

женные хиггсовские скалярные бозоны). Смешанные компоненты метрики, точнее, векторы триады в (8.8.2), описывающие эти поля, согласно общему правилу многомерия, должны зависеть от дополнительных координат. Напомним, что в стандартной квантовой механике заряженные поля также описываются комплексными волновыми функциями. Ничего подобного не было ни в общей теории относительности, ни в 5-мерных теориях Калуцы и Клейна, так как в них взаимодействие переносится нейтральными бозонами.

5. Дополнительные размерности необходимо положить существенно отличающимися от классических, так как, в соответствии с представлениями многомерных геометрических теорий, они должны быть *компактифицированными*, т. е. замкнутыми с очень малым периодом. В обсуждаемой здесь 7-мерной модели используется простейшая топология 3-тора. На практике это означает циклическую (экспоненциальную с мнимым показателем) зависимость величин от дополнительных координат в виде, обобщающем формулы (8.2.7) и (8.5.2):

$$\Psi = \psi(x^\mu)\exp[i\beta x^4 + i\alpha(\varepsilon_5 x^5 + \varepsilon_6 x^6)], \tag{8.8.3}$$

где $\psi(x^\mu)$ — функции как геометрических, так и вводимых в геометрию извне полей, зависящие лишь от классических координат, α и β — малые параметры размерности $[\text{см}^{-1}]$, характеризующие периоды компактификации по дополнительным размерностям (они совпадают со значениями, приведенными в формулах (8.2.7) и (8.5.2)), ε_5, ε_6 — безразмерные параметры, определяющие два квантованных заряда.

6. Анализ показал, что 5-ю координату можно связать со взаимодействием с полем B_μ в модели Вайнберга—Салама—Глэшоу, тогда нужно ε_5 отождествить с гиперзарядом Y, а 6-ю координату можно связать со взаимодействием с триплетом полей $A(\alpha)_\mu$, тогда второй безразмерный параметр ε_6 должен быть отождествлен с проекцией изотопического спина:

$$\varepsilon_5 = Y; \quad \varepsilon_6 = 2T_3. \tag{8.8.4}$$

В этом случае имеет место простая формула для значений электрического заряда Q в единицах e

$$Q = \frac{1}{2}Y + T_3 = \frac{1}{2}(\varepsilon_5 + \varepsilon_6). \tag{8.8.5}$$

Эта формула обобщает (8.2.8) в 5-мерной теории Калуцы и соответствует формуле (3.6.7) в модели Вайнберга—Салама—Глэшоу.

7. Поскольку в классической модели Вайнберга—Салама—Глэшоу электрослабые взаимодействия переносятся четырьмя промежуточными векторными полями: B_μ и триплетом $A(s)_\mu$, где $s = 1, 2, 3$, то, действуя по общим правилам введения геометрических полей в теории Калуцы (через столбцы дополнительных компонент метрики), следовало бы ожидать необходимость не трех, а четырех дополнительных размерностей. Однако в данном случае можно обойтись названными тремя размерностями (если бы не решать проблему описания масс, то хватило бы и двух дополнительных размерностей).

Понижение размерности достигается тем, что компоненты трех векторов триады в (8.8.2) фактически разлагаются по гармоникам зависимостей от дополнительных координат, при которых в качестве коэффициентов выступают физические векторные поля модели Вайнберга—Салама—Глэшоу, например,

$$\lambda_\mu = b_5 B_\mu + a_5 A(3)_\mu + w_5^+ W_\mu^+ \exp[2i\alpha x^6] + w_5^- W_\mu^- \exp[-2i\alpha x^6], \quad (8.8.6)$$

где присутствующие здесь и другие константы b_s, a_s, $w_s^\pm$ находятся из условий соответствия геометрической теории с известной моделью Вайнберга—Салама—Глэшоу.

8. Имеется связь между размерностью и сигнатурой пространственно-временного многообразия, с одной стороны, и характером и числом компонент спиноров (в традиционном их понимании с позиций алгебр Клиффорда над полем вещественных чисел), определяемых в этом многообразии, с другой. В частности, в 7-мерном пространстве с рассматриваемой сигнатурой *спиноры должны иметь 8 комплексных компонент*. В обсуждаемой здесь теории этот 8-компонентный спинор расщепляется на пару общепринятых 4-компонентных спиноров, описывающих электроны и нейтрино.

9. Взаимодействие фермионных полей с бозонными (физическими) полями в геометрической модели получаются из ковариантных производных в (8.8.1). В триадном методе расщепления из них выделяются так называемые триадные 4-мерные производные (триадный оператор дифференцирования) вида

$$\partial_\mu^{\dagger\dagger} = g_\mu^N \frac{\partial}{\partial N} = \frac{\partial}{\partial x^\mu} + \xi_\mu \xi^4 \frac{\partial}{\partial x^4} + \lambda_\mu \lambda^5 \frac{\partial}{\partial x^5} + \sigma_\mu \sigma^6 \frac{\partial}{\partial x^6}, \quad (8.8.7)$$

соответствующие удлиненным производным (3.6.2) в модели электрослабых взаимодействий Вайнберга—Салама—Глэшоу. Напомним, что аналогичным образом в 5-мерной теории Калуцы выделялась удлиненная производная (8.4.4).

10. Данные о зависимостях от x^5 и x^6 всех введенных выше полей (физических фермионных и геометрических бозонных) сведены в таблицу (8.8.8).

Таблица 8.8.8.

Поля	ε_5	Y	ε_6	T_3
			Изодублет	
ν_L	-1	-1	$+1$	$+1/2$
e_L	-1	-1	-1	$-1/2$
			Синглеты	
ν_R	0	0	0	0
e_R	-2	-2	0	0
A_μ	0	0	0	0
			Изотриплет	
W_μ^+	0	0	$+2$	$+1$
W_μ^-	0	0	-2	-1
Z_μ^0	0	0	0	0
			Изодублет	
ϕ_0	$+1$	$+1$	-1	$-1/2$
ϕ_+	$+1$	$+1$	$+1$	$+1/2$

В эту таблицу включены также аналоги хиггсовских скалярных бозонов, вводимых в 7-мерной геометрической модели через конформный фактор теории, что позволяет ввести массы покоя промежуточных векторных бозонов.

Гармоники фермионов и бозонов из этой таблицы графически проиллюстрированы на рисунке 8.2. На этом графике по вертикальной оси отложены гармоники ε_6, а по горизонтальной оси — гармоники ε_5. Как видно из рисунка, осуществляется плотная упаковка полей (частиц) по гармоникам вблизи их начала координат.

11. Окончательное выражение для плотности 4-мерного лагранжиана грави-электрослабых взаимодействий получается из 7-мерной гиперплотности лагранжиана (8.8.1) посредством усреднения по малым периодам зависимостей от дополнительных координат, использованного уже в теориях Калуцы и Клейна. После интегрирования гиперплотности лагранжиана по dx^4, dx^5 и dx^6 все экспоненциальные слагаемые, не сократившиеся при умножении составляющих слагаемых, исчезают и получается выражение, зависящее лишь от 4 классических координат,

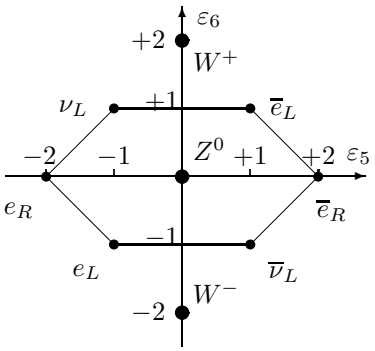

Рис. 8.2. Гармоники фермионов и бозонов в 7-мерной геометрической модели

которое и сравнивается с соответствующими плотностями, полученными в модели Вайнберга—Салама—Глэшоу. Этот прием соответствует операциям интегрирования по грассмановым переменным в суперсимметричных теориях физического видения мира.

Отождествление геометрических и физических выражений позволяет конкретизировать значения коэффициентов, введенных в (8.8.6). На основе изложенных выше и некоторых других, более частных, идей и приемов удается достичь согласия геометрического и физического подходов к описанию электрослабых взаимодействий элементарных частиц. При этом геометрическую интерпретацию получают такие известные свойства модели Вайнберга—Салама—Глэшоу, как неабелевость калибровочных полей, нелинейные слагаемые и другие. Конечно, в такой теории автоматически содержится общая теория относительности.

8.9. 8-Мерная модель грави-сильных и электрослабых взаимодействий

Отдельно рассмотрим два вопроса: во-первых, геометризацию сильных взаимодействий и, во-вторых, объединение сильных и электрослабых взаимодействий в многомерной геометрической модели.

8-мерная геометрическая модель грави-сильных взаимодействий [28]. Задачи, решаемые при построении геометрической модели грави-сильных взаимодействий, аналогичны тем, что возникают в 7-мерной модели грави-электрослабых взаимодействий. Тем не менее, отметим важнейшие из них.

1) Необходимо геометрическими методами описать три типа цветовых зарядов хромодинамики.

2) Поскольку в хромодинамике сильные взаимодействия переносятся 8 типами глюонов, необходимо найти геометрический образ этих физических векторных полей в многомерной геометрической модели.
3) Калибровочная группа $SU(3)$ приводит к существенно нелинейным выражениям в бозонном секторе лагранжиана теории. Следовало показать, что все эти нелинейные слагаемые можно описать в рамках многомерной геометрической модели типа теории Калуцы—Клейна.
4) Следовало продемонстрировать, что в 8-мерной модели можно описать взаимодействие фермионов с глюонами в согласии с фермионным сектором хромодинамики.

Для решения перечисленных задач были использованы следующие идеи и методы:

1. Анализ показал, что размерности 7 недостаточно для решения данных задач. Необходимо использовать 8-мерную геометрическую модель с сигнатурой $(+\,-\,--\,|\,-\,-\,--)$. Главным доводом в пользу трех дополнительных размерностей (к четырем классическим плюс координата x^4) явилась необходимость описания трех цветовых зарядов (для решения первой из перечисленных задач). Известно, что в теориях Калуцы—Клейна заряды соответствуют дополнительным компонентам импульсов. Три заряда — три новых размерности (импульса). Обозначим новые дополнительные координаты индексами x^7, x^8, x^9, имея ввиду, что все предыдущие номера уже были заняты для описания классического 4-мерного пространства-времени, массового вклада и электрослабых взаимодействий.

2. В согласии с общим правилом, дополнительные размерности полагаются компактифицированными. Опять предлагается использовать топологию 4-тора. Это означает, что все поля, обладающие цветовыми зарядами, должны циклическим образом зависеть от дополнительных координат. Для описания трех цветовых состояний кварков $q_{(j)}$ предлагается использовать следующую их зависимость от дополнительных координат:

$$q_{(1)} \sim \exp(i\gamma x^7); \quad q_{(2)} \sim \exp(i\gamma x^8); \quad q_{(3)} \sim \exp(i\gamma x^9), \tag{8.9.1}$$

где γ — некая новая константа, определяющая период компактификации дополнительных размерностей, характеризующих сильные взаимодействия. Из-за симметрии в хромодинамике всех трех цветовых зарядов радиусы компактификации трех измерений взяты одинаковыми.

3. Анализ показал, что семи измерений недостаточно для построения одновременно как бозонного, так и фермионного секторов теории, соответствующих хромодинамике. Восьмое измерение (с координатой x^4

клейновского типа) оказалось необходимым не только для описания массовых слагаемых фермионных полей, но и для согласования фермионного и бозонного секторов модели. Это новый элемент теории, не проявлявшийся в 7-мерной модели грави-электрослабых взаимодействий.

4. Восемь глюонов описываются компонентами многомерной метрики аналогично тому, как это делалось в 7-мерной модели грави-электрослабых взаимодействий. Напомним, что из 8 глюонов два являются нейтральными по цветовым зарядам, а шесть — заряженными. В согласии с определенной в (8.9.1) зависимостью кварков от дополнительных координат, три пары заряженных (цветовым образом) глюонов должны иметь следующие зависимости:

$$\begin{aligned} X_\mu^\pm &\sim \exp[\mp i\gamma(x^7 - x^8)]; \\ Y_\mu^\pm &\sim \exp[\mp i\gamma(x^7 - x^9)]; \\ Z_\mu^\pm &\sim \exp[\mp i\gamma(x^8 - x^9)]. \end{aligned} \tag{8.9.2}$$

Как уже отмечалось в главе 3, восемь глюонов можно связать с восьмеркой китайских триграмм, где три пары заряженных глюонов соответствуют шести триграммам, содержащим отрезки двух видов, а два нейтральных глюона можно сопоставить с двумя триграммами из одинаковых отрезков. На рисунке 3.5 они изображены сверху и снизу.

5. В стандартном понимании спиноров (на основе алгебр Клиффорда над полем вещественных чисел) имеется жесткая связь между размерностью, сигнатурой многообразия и числом компонент спиноров. Для размерностей 4 и 5 спиноры являются 4-компонентными, для размерностей 6 и 7 — спиноры 8-компонентные, а для размерности 8 они оказываются 16-компонентными.

6. В согласии с духом общей теории относительности и многомерных теорий Калуцы—Клейна в качестве ключевого (базового) выражения модели выбирается *8-мерная гиперплотность лагранжиана* вида (8.8.1), слагающаяся из геометрической части (плотности скалярной кривизны $R^{(8)}$) и внешней к геометрии спинорной материи.

7. Как и в предыдущих многомерных геометрических моделях физических взаимодействий, в данном случае используется обобщение монадного метода редукции на 4-мерие. Теперь это будет тетрадный метод $1 + 1 + 1 + 1 + 4$-расщепления.

8. Для получения окончательных формул используется метод усреднения (интегрирования) исходных 8-мерных выражений по дополнительным координатам. В итоге опять остаются лишь величины, зависящие от четырех классических координат.

Показано, что в рамках 8-мерной модели получается строгое соответствие геометрических выражений с теми, которые вводятся на основе калибровочного подхода к сильным взаимодействиям в физическом видении мира.

Объединение сильных и электрослабых взаимодействий. Далее в рамках геометрического подхода, как это было и в физическом миропонимании, встает задача построения единой теории гравиэлектрослабых и сильных взаимодействий. Самый очевидный вариант состоит в объединении охарактеризованных выше 7- и 8-мерных моделей в рамках 10-мерной геометрической теории, где 4 координаты классические, 1 координата массовая (клейновского типа), 2 координаты используются для описания зарядов электрослабых взаимодействий и 3 координаты — для описания трех цветовых зарядов хромодинамики $(4 + 1 + 2 + 3 = 10)$. В таком варианте объединения 10-мерное искривленное пространственно-временное многообразие при должном способе расщепления обеспечит нужные слагаемые для всех четырех фундаментальных взаимодействий.

Однако этот вариант синтеза имеет характер простого механического объединения, не приводящего к вскрытию более глубоких свойств фундаментальных взаимодействий. Такая теория, можно сказать, соответствует духу птолемеевского описания движения планет и звезд, только теперь вместо циклов выступают геометрические размерности.

Более интересным представляется иной путь, основанный на рассмотрении единого объекта в рамках меньшего числа измерений, который при разных условиях может проявляться в виде полей, описывающих либо сильные, либо электрослабые взаимодействия. Тогда различные виды взаимодействий элементарных частиц можно рассматривать как проявления единой сущности в разных формах.

В качестве такой единой сущности, представляющей прообраз всех известных взаимодействий, предлагается рассматривать 8-мерное риманово многообразие с сигнатурой $(+ - - - - - - -)$, подвергнутое процедуре тетрадного $4 + 1 + 1 + 1 + 1$-расщепления. На исходном этапе четыре вектора тетрады являются чем-то общим, не интерпретируемым ни через глюоны, ни через промежуточные векторные бозоны модели Вайнберга—Салама—Глэшоу. Но затем эти векторы тетрады при определенных условиях оказываются представимыми через глюонные поля хромодинамики или в виде промежуточных векторных полей модели электрослабых взаимодействий Вайнберга—Салама—Глэшоу.

Процедура получения сильных взаимодействий в 8-мерной модели описана выше, а переход от 8-мерной геометрической модели к элек-

трослабым взаимодействиям в данном подходе осуществляется путем понижения размерности многообразия до семи. В наших работах (см. [28]) показано, что таким путем получается 7-мерная теория гравиэлектрослабых взаимодействий кварков. Поскольку понижение размерности до семи можно сделать тремя способами (координата x^4 при этом не затрагивается, как описывающая массовые вклады), то эти возможности предлагается интерпретировать как *проявления трех поколений элементарных частиц.*

Таким образом, данный подход в рамках геометрических моделей (метафизически выделенных) восьми измерений позволяет не только указать глубинную связь электрослабых и сильных взаимодействий, но и обосновать наличие именно трех поколений элементарных частиц.

8.10. Основные выводы из исследований многомерия

Из изложенного в этой главе можно сделать следующие основные выводы.

1. Есть основания полагать, что **история развития теории физических взаимодействий могла бы оказаться иной и физика могла бы пойти по пути многомерных геометрических моделей типа теории Калуцы—Клейна**. В частности, об этом свидетельствует возрождение интереса к концепции многомерия с конца 70-х годов, не затихающего до настоящего времени. Пионерские работы 20-х — 30-х годов, видимо, оказались преждевременными. В них довольно быстро вскрылись проблемы, которые не могли быть немедленно решены имеющимися на тот момент средствами. Кроме того, каждое увеличение геометрической размерности всегда означало для исследователей преодоление высокого психологического барьера. Калибровочный же подход, во-первых, возник позже, когда был накоплен значительно больший экспериментальный материал, и, во-вторых, представлялся менее проблематичным и позволял обойти дополнительные вопросы метафизического характера.

В рамках многомерия можно описать все главные следствия доминировавшего в XX веке калибровочного подхода к описанию физических взаимодействий, однако в геометрическом видении мира совершенно иные базовые понятия, принципы, способы рассуждений и приоритеты.

2. Многомерные геометрические модели типа теорий Калуцы и Клейна, показывают, что *фундаментальные физические взаимодействия, исключая гравитационное, можно понимать как проявления допол-*

нительных размерностей искривленного физического пространства-времени. Конкретные варианты многомерных геометрических моделей, объединяющие общую теорию относительности с теориями других взаимодействий, показывают, что

1) для описания электромагнитного взаимодействия необходимо учесть одно дополнительное пространственно-подобное измерение; это делается в рамках 5-мерной теории Калуцы или, при геометрическом способе описания масс, в рамках 6-мерной теории Калуцы—Клейна;
2) электрослабые взаимодействия описываются с помощью двух дополнительных пространственно-подобных координат, а геометрический способ введения масс фермионов диктует использование еще одной координаты, что формулируется в рамках 7-мерной единой теории грави-электрослабых взаимодействий, совмещающей закономерности эйнштейновской общей теории относительности и модели электрослабых взаимодействий Вайнберга-Салама-Глэшоу;
3) для описания сильных взаимодействий необходимо учесть три дополнительные пространственно-подобные размерности в духе теории Калуцы и одну размерность в духе теории Клейна, — в итоге получается 8-мерная геометрическая модель, объединяющая общую теорию относительности и классическую хромодинамику.

Названные геометрические модели представляют собой путь от теоремы Пифагора по лестнице размерностей физического пространства-времени.

3. Дополнительная размерность x^4, вводимая для геометрического описания масс покоя элементарных частиц, качественно отличается от других дополнительных размерностей, описывающих известные виды фундаментальных физических взаимодействий. Именно использование этой размерности позволяет с полным основанием назвать данные модели *теориями Калуцы—Клейна.*

4. Следует особо остановиться на размерности 8, оказавшейся достаточной для описания известных видов физических взаимодействий. В главе 2 отмечалось проявление важных метафизических свойств в размерности и сигнатуре $(+\ -\ -\!-)$ классического пространства-времени: *двоичности* в виде временно-подобности и пространственно-подобности и *троичности* в числе пространственных координат. Из исследований многомерия можно сделать вывод об еще одном *проявлении двоичности в числе классических и дополнительных (компактифицированных) координат, — их оказалось одинаковое число.* Эти восемь измерений можно уподобить системе из восьми китайских триграмм (см. рис. 8.3), обратив

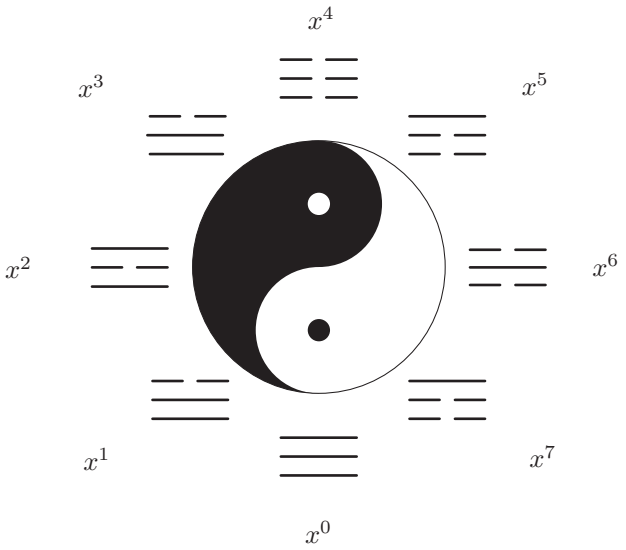

Рис. 8.3. Соответствие координат 8-мерной геометрической модели системе китайских триграмм

внимание на выделенность одной классической координаты (времени x^0) и одной дополнительной координаты x^4, соответствующей каналу клейновского многомерия. Эти две координаты можно сопоставить с однородными триграммами, тогда как оставшиеся две пары координат — со смешанными триграммами.

5. *В геометрическом видении мира открывается принципиально новый путь объединения сильных и электрослабых взаимодействий*, исходя из геометрической теории 8 измерений, где сильные взаимодействия можно понимать как проявление частного случая 8-мерной теории, тогда как электрослабые взаимодействия получаются из исходной модели при понижении размерности путем склейки пар из трех дополнительных координат.

6. В рамках многомерного геометрического подхода решается проблема теоретического обоснования трех поколений элементарных частиц. *Три поколения частиц обусловлены тремя разными способами понижения размерности с восьми до семи измерений путем склейки двух из трех дополнительных размерностей.*

Заметим, что при этом переходе от сильных к электрослабым взаимодействиям происходит своеобразная замена восьмерки глюонов на китайской системе триграмм на рисунке 3.5 (в сильных взаимодействи-

ях) на систему поколений элементарных частиц в электрослабых взаимодействиях.

7. В многомерных геометрических моделях заряды (электрический и другие) имеют смысл дополнительных компонент импульсов частиц. Дополнительные координаты исключаются из теории усреднениями (интегрированиями) по периодам компактификации этих размерностей. Исходя из этого, можно высказать гипотезу, что *многомерность и соответствующие многомерные симметрии имеют место лишь для импульсного, но не координатного пространства.* Компактификацию дополнительных размерностей можно понимать как математический прием, позволяющий построить теорию с другого конца, исходя из (первично заданного) многомерного координатного (а не импульсного) пространства.

8. Опыт построения многомерных геометрических теорий свидетельствует о *бесперспективности попыток обоснования компактификации дополнительных размерностей в рамках классического геометрического подхода* (видения мира). В исследованиях подобного рода исходят из ничем не оправданной посылки о первичности некомпактифицированных координатных размерностей и пытаются объяснить их компактификацию, тогда как предпочтительней другой ход рассуждений — исходя из импульсного представления теории (первично компактифицированных координатных размерностей), пытаться обосновать появление четырех классических некомпактифицированных координатных размерностей.

9. С точки зрения изложенного здесь подхода, *следует усомниться в физической обоснованности вариационных принципов в многомерных геометрических моделях до проведения процедуры 4-мерной редукции*, а следовательно, и в правомерности использования многомерных уравнений Эйнштейна. Строго говоря, вариационные методы можно применять, когда введено классическое координатное пространство-время. А как показано выше, для дополнительных размерностей имеют смысл лишь компоненты импульсов и нет аналога координатного пространства-времени. Последнее можно ввести только для четырех классических размерностей.

10. Многомерные геометрические модели типа теории Калуцы—Клейна, несомненно, отражают свойства реального мира, но исследователей, как правило, не покидает мысль, что *эти модели представляют собой лишь вершину айсберга.* Его подводная часть оказывается скрытой для всех, кто ограничивается рамками лишь геометрического подхода.

В связи с этим хотелось бы привести слова, которыми заканчивалась уже ставшая классической статья Т. Калуцы: «Полностью учитывая все физические и теоретико-познавательные трудности, громоздящиеся на

нашем пути при изложенном подходе, все же нелегко примириться с мыслью, что все эти соотношения, которые вряд ли можно превзойти по достигнутой в них *степени формального единства*, — всего лишь капризная игра обманчивой случайности. Но если удастся показать, что за предполагаемыми взаимосвязями стоит нечто большее, нежели пустой формализм, то это будет новым триумфом *общей теории относительности Эйнштейна*, о логическом *применении которой к случаю пятимерного мира* здесь шла речь» [56, с. 534]. Последнее утверждение следует обобщить на мир большей размерности.

Как нам представляется, в рамках реляционного видения мира (в бинарной геометрофизике [27, 28], — см. гл. 12) вскрываются более глубокие понятия и закономерности, ответственные за проявление многомерности мира. Их можно понимать как подводную часть айсберга многомерной геометрии.

Глава 9

Единая геометрия мира: проблемы и гипотезы

Данная глава посвящена анализу попыток перехода к монистической парадигме со стороны геометрического миропонимания. Эта программа является более грандиозной, чем геометризация и объединение полей переносчиков взаимодействий. Прежде всего, она нацелена на геометризацию еще и категории частиц — источников бозонных полей, которые в общей теории относительности и в теориях Калуцы—Клейна вводились волевым образом.

В XX веке эта задача увлекала многих исследователей. Можно сказать, что в ней на уровне представлений XX века возрождались взгляды Декарта, отождествлявшего пространство с субстанцией, о чем Эйнштейн писал: «Декарт был не так далек от истины, когда полагал, что существование пустого пространства должно быть исключено. Эта точка зрения действительно казалась абсурдной до тех пор, пока физическую реальность видели исключительно в весомых телах. Потребовалась идея поля, чтобы показать истинную сущность идеи Декарта: не существует пространство, «свободное от поля»» [146, с. 758].

Идея о всеобщей геометризации физики была высказана В. Клиффордом, предложившим в середине XIX века «рассматривать как изменения физического характера те действия, которые на самом деле обязаны своим происхождением изменениям кривизны нашего пространства». А. Эйнштейн, познакомившийся с работами Клиффорда еще до создания общей теории относительности в бернский период жизни (1902–1909), посвятил идее геометризации свои последние тридцать лет. Наибольшую трудность для великого ученого представляла проблема геометризации массивной материи (частиц). Напомним, что Эйнштейн считал правую часть уравнений дефектом своей теории. Он писал: «Правая часть (уравнений Эйнштейна, — Ю. В.) включает в себя все то, что не может быть пока объединено в единой теории поля. Конечно, я ни одной минуты не сомневался в том, что такая формулировка есть только временный

выход из положения, предпринятый с целью дать общему принципу относительности какое-то замкнутое выражение. Эта формулировка была ведь по существу *не более* чем теорией поля тяготения, несколько искусственно оторванного от единого поля еще неизвестной структуры» [151, с. 286]. Эйнштейн всячески избегал везде, где это было возможно, написания тензора энергии-импульса $T_{\mu\nu}$ в правой части своих уравнений. Он говорил, что его теория покоится на двух ногах: одной «монолитной» (левой, геометрической части уравнений) и другой «глиняной» (правой, физической части уравнений).

Данная парадигма имеет два уровня: классический и квантовый. Первые параграфы этой главы посвящены классическим аспектам, а следующие — квантовым. Известно, что сам Эйнштейн главное внимание уделял классическим аспектам, полагая, что принципы квантования следует искать на пути развития геометрии.

9.1. Экстремальная геометрическая парадигма

Наглядно поясним суть экстремальной, клиффордовской программы геометризации всей физики. Для этого сравним физические картины мира в рамках различных его видений: 1) в триалистической парадигме, опирающейся на три физические категории, 2) в дуалистической (геометрической) парадигме, основанной на двух категориях: пространства-времени и некоего единого поля, 3) в дуалистической парадигме геометрического миропонимания, рассмотренного в предыдущих главах этой части, и 4) в экстремально геометрической парадигме (в монистической парадигме, как она представляется со стороны геометрического миропонимания). Они проиллюстрированы с помощью рисунков 9.1, 9.2, 9.3 и 9.4, где три физические категории изображаются различным образом: категория частиц — в виде шаров черного цвета, категория полей — силовыми и эквипотенциальными линиями и категория пространства-времени — белым листом с крупной (координатной) сеткой.

1. Триалистическая парадигма проиллюстрирована на рисунке 9.1, где на плоскости, олицетворяющей плоское пространство-время, изображены две другие физические категории. Как уже отмечалось, в XX веке физики понимали, что трех категорий слишком много, и пытались ограничиться их меньшим числом.

2. Дуалистическая парадигма, основанная на плоском пространстве-времени и едином поле проиллюстрирована на рисунке 9.2. В ней отсутствует категория частиц (нет черных шариков). Вместо них на плоскости (на фоне плоского пространства-времени) изоб-

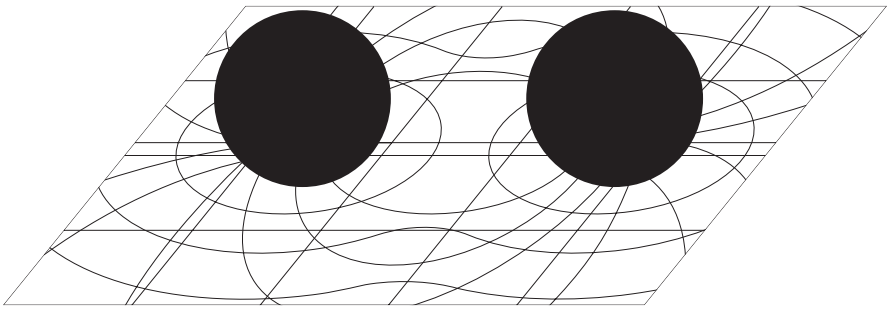

Рис. 9.1. Три ключевые физические категории: пространства-времени, частиц и полей переносчиков взаимодействий

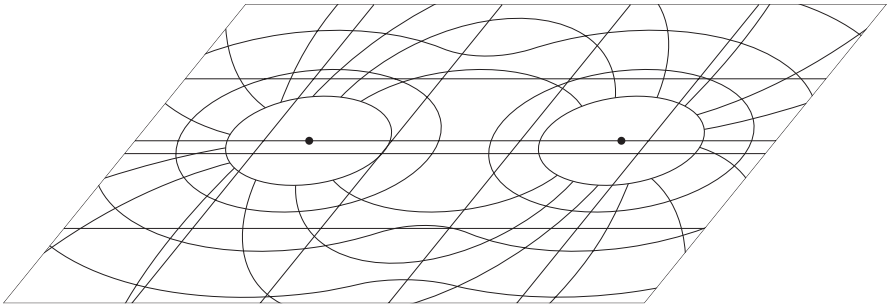

Рис. 9.2. Две категории физического миропонимания: единое поле и пространство-время

ражены два серых бугра — как бы сгустка полей, представляющих две частицы. В этой парадигме, принадлежащей геометрическому миропонимания, роль категории частиц берут на себя пространство-время и обобщенная категория полей переносчиков взаимодействий. Напомним, при развитии теории в рамках данной парадигмы, охарактеризованной в главе 4, вскрылись существенные трудности в описании спинорных свойств частиц (фермионных полей) и в квантовании теории.

3. Геометрическое миропонимание на основе двух категорий: искривленного пространства-времени и частиц пояснено на рисунке 9.3, где черные шарики, представляющие частицы, изображены на продавленной ими пленке, олицетворяющей искривленное пространство-время. На этом рисунке отсутствует категория полей (нет серой пленки), функции которой взяло на себя искривленное (обобщенное) пространство-время. Напомним, к теориям такого рода относятся общая теория относительности и многомерные теории Калуцы—Клейна.

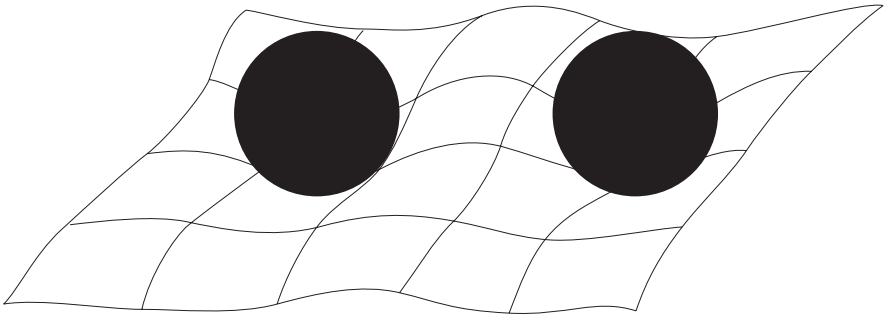

Рис. 9.3. Две категории геометрического миропонимания: искривленное пространство-время и частицы

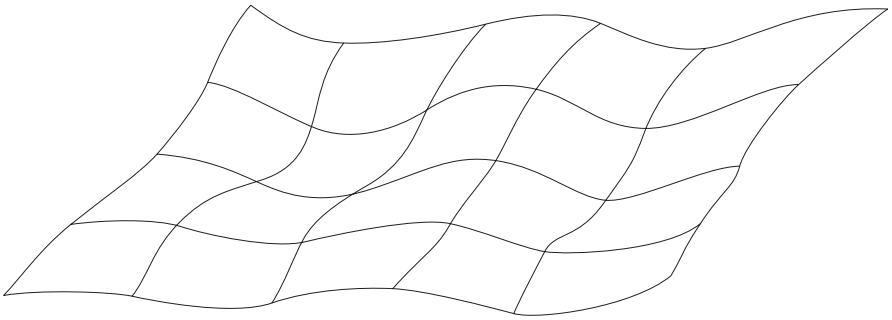

Рис. 9.4. Единая геометрия мира, вобравшая в себя все три физические категории

4. Экстремально геометрическая парадигма, основанная на обобщенной категории единой геометрии мира, обсуждаемая в этой главе, пояснена на рисунке 9.4. На нем нет ни черных шариков (частиц), ни серой пленки (полей). Как частицы, так и поля представляются в виде искривлений (закрученности, неметричности и т. д.) обобщенного пространства-времени.

Назовем четыре программы, претендовавшие в XX веке на решение задачи перехода к монистической парадигме со стороны геометрического миропонимания: 1) геометродинамика Уилера, строящаяся в рамках 4-мерного пространства-времени, 2) программа описания частиц через фридмоны Маркова, 3) многомерные геометрические модели, обобщающие теории Калуцы—Клейна, и 4) теория супергравитации. Эти программы различались способами геометрического описания негравитационных полей и массивной материи (частиц).

9.2. Геометродинамика Уилера

Самым видным и последовательным сторонником клиффордовской идеи всеобщей геометризации материи (монистической парадигмы в геометрии) во второй половине XX века являлся Дж.Уилер, развивавший в рамках этого подхода своеобразную теорию, названную *геометродинамикой*. В его совместной статье с Ч. Мизнером «Классическая физика как геометрия» наиболее четко сформулированы взгляды его школы: «Классическая физика как совокупность теории гравитации, электромагнетизма, неквантованного заряда и массы. Все эти четыре понятия описываются с помощью пустого искривленного пространства без каких-либо добавлений к принятой теории» [115, с. 218]. Основные черты этой теории характеризуются Уилером следующим образом: «1) Пространство-время не есть *арена* для физики, это *вся классическая физика*. 2) Не существует нуждающихся в объяснении «мировых констант»: ни c, ни $k\ldots$. 3) Не существует «констант связи», как нет и независимо существующих полей, взаимодействующих друг с другом. Электромагнитное поле не является особым объектом» [115, с. 334]. «Настоящая хорошо установленная исконно единая классическая теория (геометродинамика — Ю. В.) позволяет описывать с помощью пустого искривленного пространства

1) гравитацию без гравитации,
2) электромагнетизм без электромагнетизма,
3) заряд без заряда,
4) массу без массы» [115, с. 229].

Фундаментом теории Уилера является 4-мерное искривленное пространство-время. Как известно, уравнения Эйнштейна допускают решения и в отсутствие правой части, т. е. без материи. Для описания «электромагнетизма без электромагнетизма» были привлечены результаты Г. Райнича, полученные еще в 20-х годах. Райнич заметил, что из уравнений Эйнштейна (7.2.9) в электровакууме

$$R_{\mu\nu} = -\frac{2k_g}{c^4}\left(F_{\mu\alpha}F_{\nu}^{\cdot\alpha} - \frac{g_{\mu\nu}}{4}F_{\alpha\beta}F^{\alpha\beta}\right) \tag{9.2.1}$$

можно алгебраически выразить компоненты тензора электромагнитного поля $F_{\alpha\beta}$ через компоненты тензора Риччи (кривизны $R_{\mu\nu}$). В интерпретации Уилера это означает возможность понимать электромагнитное поле как своеобразные электромагнитные «следы» на искривленном пространстве-времени.

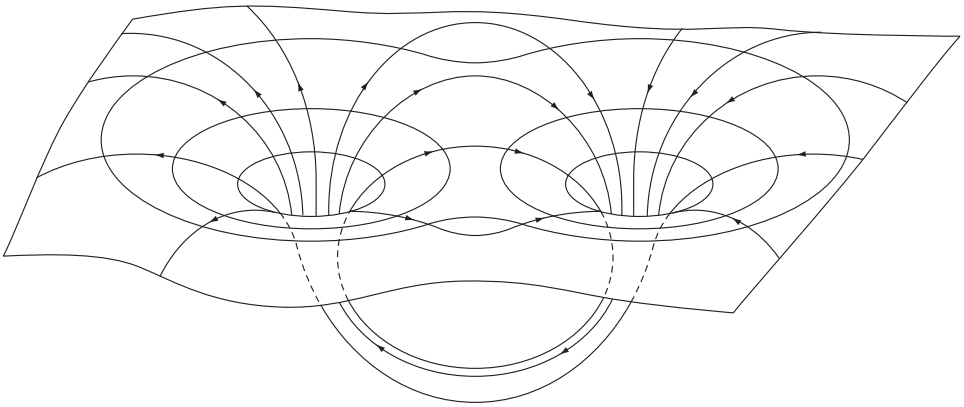

Рис. 9.5. Заряды в геометродинамике Уилера

«Массу без массы», т. е. частицы, Уилер предлагает вводить, используя более сложную топологию пространства-времени. Позволим себе напомнить, что топология изучает общие геометрические свойства объектов и многообразий, не зависящие от их метрики. В данном случае речь идет о таких свойствах поверхностей (гиперповерхностей), которые отличают, допустим, плоскость от сферы. Так, однополостный гиперболоид имеет одинаковую топологию с плоскостью, тогда как топология сферы иная. Можно указать другие топологии, например, у тора (бублика). Уилер использовал топологию, которую можно уподобить ручкам на поверхности (см. рис. 9.5).

Никакими деформациями поверхности (изменениями ее метрики) невозможно избавиться от ручек, не разрывая и не склеивая точек поверхности. В геометродинамике предложено трактовать частицы как устья этих ручек, т. е. как входы и выходы своеобразных «кротовых нор». Частиц много, отсюда следует, что в геометродинамике реальный мир должен рассматриваться как многосвязный с большим количеством ручек.

«Заряды без зарядов» предлагается описывать введением в геометрию электромагнитных силовых линий, которые пронизывают ручки. Тогда устье, куда входят силовые линии, можно трактовать как заряженные частицы одного типа заряда (отрицательного), а устья, откуда выходят линии, — как заряды другого знака (положительного).

В теории Уилера имеется много любопытных соображений о метрических и топологических свойствах пространства-времени и об их ин-

терпретации. Геометродинамика Уилера нашла много сторонников как за рубежом, так и у нас в стране.

Нужно отметить, что уже на классическом уровне геометродинамика Уилера натолкнулась на существенные трудности. Это заставило его и его сотрудников временно заняться исследованиями моделей промежуточного характера. В частности, к таковым относился поиск частицеподобных решений совместных систем из уравнений Эйнштейна, Максвелла и других полей.

Из наиболее серьезных трудностей геометродинамики Дж. Уилер сам называет следующие: «Она *ничего* непосредственно не дает нам для понимания спина без спина, элементарных частиц без элементарных частиц и каких-либо других явлений квантовой физики» [115, с. 229]. Из этих трудностей, на наш взгляд, наиболее принципиальный характер имеет вопрос об описании спинорных частиц (фермионов). Сам Уилер понимал важность этого вопроса. По этому поводу он писал: «Затронув вопросы о порядках величин масс частиц и о ядерных силах, мы приходим к последнему и решающему вопросу — к проблеме спина. Каким образом классическая теория, рассматривающая поля с целыми значениями спина, способна после квантования привести к спину $1/2$, как это требуется для объяснения свойств нейтрино, электрона и других фермионов?... Если это не будет иметь места, то *чистая квантовая геометродинамика должна рассматриваться как схема, недостаточная для построения основы физики элементарных частиц.* Поэтому вопрос о происхождении спина является решающим при оценке возможностей квантовой геометродинамики» [115, с. 347].

В рамках геометродинамики так и не удалось решить эту проблему, что послужило одним из оснований для перехода Уилера и его сторонников к исследованиям теории супергравитации.

9.3. Фридмоны Маркова

В работах М. А. Маркова предложен другой путь геометрического представления частиц, также основанный на топологии и также имеющий метафизический характер.

Марков сравнивал процесс уточнения аксиоматики геометрии с поиском первоматерии в физике. Как уже отмечалось при сравнении способов рассуждений Платона и Аристотеля, аксиоматика основана на способе мышления по лучу: от исходных недоказуемых положений (примитивов геометрии) по заданным правилам рассуждений доказываются теоремы и строится здание геометрии. При этом встает вопрос: как от-

носиться к аксиомам? Они являются истинами в последней инстанции, и тогда геометрия на их основе абсолютна? Или можно переходить к еще более элементарным аксиомам, когда вершину направленного вправо луча можно сдвигать влево и строить все более совершенные геометрии на основе еще более элементарных аксиом? Имеет ли этот процесс границу (предел) или он безграничен? В первом случае ставится предел развитию геометрии, а во втором — фактически утверждается непознаваемость основ геометрии.

В главе 4 была рассмотрена подобная альтернатива в физике элементарных частиц: называлась линия Демокрита, отстаивавшего идею первоматерии в виде неделимых атомов, и линия Анаксагора[1], говорившего о бесконечно большом числе видов первоэлементов. Марков предложил третий путь решения данной проблемы: «От древнейших времен до настоящего времени существуют две альтернативные концепции о природе материи. Одна из них связана с верой в существование бесконечной иерархии форм материи. Сторонники этой концепции, говоря языком Лукреция, «никогда никакой границы дроблению не ставят». А другая концепция связана с верой в существование предела «дробления» в виде абсолютных атомов или с более общим утверждением о возможном существовании некой первоматерии. Теперь удается сформулировать совершенно новую, третью концепцию, не сводящуюся ни к одной из двух. Как и предыдущие, третья концепция лежит тоже в области веры (гипотезы), но она так же логически допустима, как и те две. Преимущество второй и третьей концепций перед первой заключается в возможности (в конце концов) их экспериментальной проверки» [78, с. 449].

Для обоснования третьего пути Марков приводит два соображения, вытекающих из анализа физики элементарных частиц второй половины XX века.

Первое соображение. Как пишет Марков: «в последние десятилетия возникла принципиально новая идея, дающая возможность своеобразным путем продолжить линию Эмпедокла. Но в отличие от традиционной идеи о структуре материи, согласно которой объекты строились из частиц все *меньших и меньших масс*, возникла идея строить частицы данных масс из более фундаментальных частиц, обладающих *большими массами* (курсив Ю. В.). Уменьшение массы результирующей системы возникает за счет сильного взаимодействия тяжелых частиц, составляющих систему. В результате этого сильного взаимодействия часть общей массы покидает систему в виде различного рода излучений. (...)

[1] В работах М. А. Маркова эта идея связывалась с именем Эмпедокла.

Спрашивается: кварковая форма материи (если эта гипотеза подтвердится) — это первоматерия? Или кварки должны состоять из более фундаментальных частиц, и этот процесс создания частиц лежит на линии развития идеи Эмпедокла? Но линия Эмпедокла в таком варианте привела бы к существованию фундаментальных частиц бесконечно больших масс. . . » [78, с. 443].

Второе соображение. «В последующие годы возникла идея, которая, правда, относится пока к кругу проблем, связанных с сильными взаимодействиями. И эта идея неожиданным образом дает возможность понять, что решение проблемы может совсем не находиться ни в сфере идей Эмпедокла, ни в сфере идей Демокрита. Речь идет о так называемой ядерной демократии. Взаимная превращаемость известных элементарных частиц, возможность рождения и исчезновения их в отличие от прежнего (например, ньютоновского) атомизма — совершенно новая и фундаментальная черта атомизма современного. Она ведет к существенной взаимной обусловленности свойств различных элементарных частиц, которая в последние годы обнаруживается физиками все чаще и чаще. (. . .) Идея, что «Все» состоит из «Всего», стала чуть ли не тривиальностью. Но следует заметить, что адекватного этим идеям математического аппарата пока не построено» [78, с. 444].

Марков предлагает геометрическую модель, реализующую данную идею и фактически открывающую третий путь, отличный от демокритовского и от анаксагоровского (эмпедокловского). Им выдвинута неожиданная идея представить элементарные частицы в виде «почти замкнутых» вселенных фридмановского типа — фридмонов. Он следующим образом обосновывает эту идею: «Как известно, из-за большого гравитационного дефекта масс полная масса замкнутой Вселенной равна нулю. Если рассматривать вариант Вселенной, не полностью замкнутой, «почти» замкнутой, то в зависимости от этого «почти» полная масса такой Вселенной может быть как угодно малой, в частности, например, микроскопических размеров. Более того, с точки зрения внешнего наблюдателя такая малая масса заключена «внутри» сферы также микроскопических размеров. (. . .) Есть основания думать, что конечное значение заряда может быть близко к заряду элементарной частицы. Такую систему в ее конечном состоянии будем называть фридмоном. Фридмон с его удивительными свойствами не является, однако, порождением поэтической фантазии — без всяких дополнительных гипотез система уравнений Эйнштейна—Максвелла содержит фридмонные решения. (. . .) Мы видим, что современная физика дает возможность совершенно по-новому трактовать содержание понятия «состоит из. . . ». Вселенная в

целом может оказаться микроскопической частицей. Микроскопическая частица может содержать в себе целую Вселенную. Сама возможность такого объединения противоположных свойств — свойств ультрабольшого и ультрамалого объекта, ультрамакроскопического и ультрамикроскопического — представляется не менее удивительной, чем объединение в одном объекте свойств корпускулы и волны. (...) Гравитационный дефект масс делает в принципе возможным существование такой модели Вселенной в целом. В такой концепции нет первоматерии и иерархия бесконечно разнообразных форм материи как бы замыкается на себя» [78, с. 446–448].

Здесь фактически Марков на новой основе возвращается к спору между Платоном и Аристотелем о характере рассуждений — по кругу (как у Платона) или по лучу (как у Аристотеля) — и приводит аргументы и конкретный пример геометрической модели в пользу характера рассуждений и доказательств Платона.

Подобная идея была выражена в поэтической форме еще раньше В. Брюсовым в его стихотворении «Мир электрона», навеянным другим физическим открытием — расшифровкой строения атома:

Быть может, эти электроны —
Миры, где пять материков,
Искусство, знанья, войны, троны
И память сорока веков!

Еще, быть может, каждый атом
Вселенная, где сто планет;
Там все, что здесь в объеме сжатом,
Но также то, чего здесь нет.

Идея Маркова имеет слабое место, заключающееся в определении понятия «почти замкнутая» Вселенная, и остается открытым вопрос, как математически описать это понятие и ввести взаимодействия таких «почти замкнутых» вселенных.

9.4. Имитация массивной материи геометрическими факторами

Если в геометродинамике Уилера и в работах Маркова предлагалось вводить материю (категорию частиц) через топологические особенности 4-мерного искривленного пространства-времени, то в работах ряда других авторов исследовались иные способы. Назовем некоторые из них.

1. Имитация материи через конформный фактор. Этот способ основан на использовании *конформных преобразований*. Поясним это понятие. Конформные или масштабные преобразования состоят в изменении масштаба длин в пространстве (-времени). С этими преобразованиями знакомы даже дети по известной сказке Свифта «Путешествия

Гуливера». По сути дела, путешествия Гуливера в страны лилипутов и великанов основаны на конформных преобразованиях длин (в пространстве, но не во времени). В Лилипутии масштаб был сокращен для всех ее жителей, но не для Гуливера, а в Великании масштаб был увеличен для жителей, а для Гуливера он опять остался неизменным.

Эта идея имеет строгую математическую обработку, причем в двух эквивалентных формах. Можно говорить об изменениях масштаба координат, полагая, что метрический тензор остается неизменным, а можно, наоборот, считать координаты неизменными и преобразовывать компоненты метрики. Поскольку в геометрии длины (или интервалы) задаются формулами типа $ds^2 = g_{\mu\nu}dx^\mu dx^\nu$, то эти два способа оказываются эквивалентными, но в римановой геометрии второй способ предпочтителен. Пойдем по второму пути.

Пусть задана многомерная метрика $d\tilde{I}^2 = \tilde{G}_{AB}dx^A dx^B$, тогда конформное преобразование определяется следующим образом

$$\tilde{G}_{AB} = \chi^2(x)G_{AB} \equiv \exp[2\sigma(x)]G_{AB} \to d\tilde{I} = \chi(x)dI, \qquad (9.4.1)$$

где $\chi(x) = \exp[\sigma(x)]$ — *конформный фактор* — некоторая скалярная функция координат. Две метрики $\tilde{G}_{AB}$ и G_{AB}, определенные на одном и том же координатном многообразии, называются *конформно соответствующими* друг другу. В сказке Свифта фактически использовалось преобразование (9.4.1) для 3-мерной метрики ($G_{AB} \to h_{ik}$), при этом метрика с тильдой была привычна Гуливеру, а метрика без тильды соответствовала миру, куда он попадал. В двух мирах конформный фактор был разный: в одном — меньше единицы, а в другом — больше.

Следует отметить, что конформные преобразования следует понимать как еще один вид преобразований в физической теории, дополнительный к координатным преобразованиям. Заметим, что важнейшие уравнения физики для безмассовых частиц (уравнения Максвелла без источников, Клейна—Фока, Дирака) инвариантны (неизменны) относительно конформных преобразований. Но как только вводится масса покоя частиц, конформная инвариантность нарушается. Напомним, что исходные поля в модели электрослабых взаимодействий Вайнберга—Салама—Глэшоу были безмассовыми и масса покоя возникала только в результате взаимодействия со специально вводимым для этой цели скалярным полем Хиггса.

Уравнения Эйнштейна не обладают свойством конформной инвариантности. Если полагать, что уравнения Эйнштейна записываются для 4-мерной метрики с тильдой (в вакууме), то из-за дифференци-

рования произведения метрики без тильды на конформный фактор $\chi(x) = \exp[\sigma(x)]$ в уравнениях возникают дополнительные слагаемые:

$$\tilde{R}_{\mu\nu} - \frac{1}{2}\tilde{g}_{\mu\nu}\tilde{R} = \left(R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R\right) + f(\chi) = 0, \qquad (9.4.2)$$

где $f(\chi)$ — некоторая функция, содержащая конформный фактор, первые и вторые производные от него по координатам. Перебрасывая слагаемое с конформным фактором в правую часть уравнений Эйнштейна, приходим к формальной записи 4-мерных (или n-мерных) уравнений Эйнштейна с правой частью. Последнюю можно интерпретировать как вклад от тензора энергии-импульса $T_{\mu\nu}$ массивной материи, если должным образом перейти от конформного фактора к характеристикам материи.

Основная проблема здесь состоит в определении «должного» перехода к характеристикам массивной материи. В 4-мерной теории при вещественных значениях конформного фактора возникают трудности со знаком тензора энергии-импульса конформного скалярного поля, однако в многомерных геометрических моделях имеются возможности преодолеть данную трудность, поскольку в них исходная многомерная метрика и все остальные геометрические величины не обязаны быть вещественными, — главное, чтобы после процедуры редукции на 4-мерии оставались лишь вещественные величины. На этом пути удается построить удовлетворительные классические модели (см.[21, 24]) с геометризованной массивной материей.

2. Описание материи через дополнительные компоненты многомерной метрики. В работах некоторых авторов предлагалось геометризовать массивную материю не через конформный фактор, а через дополнительные скалярные поля, возникающие в многомерных геометрических моделях. В главе 8 уже говорилось о дополнительном скалярном поле φ, описываемом диагональной компонентой 5-мерного метрического тензора

$$G_{55} = -\varphi^2. \qquad (9.4.3)$$

В геометрических моделях более высоких размерностей подобных скалярных полей больше. Таким образом, открывается возможность описывать ими различные виды массивных полей (частиц).

3. Комбинированный способ описания материи. Наконец, имеется возможность совместить названные два варианта введения массивных частиц. Так, в 5-мерной геометрической модели можно выбрать кон-

формный фактор, совпадающий с дополнительной компонентой диагональной метрики:

$$\chi^2(x) = -\tilde{G}_{55} = \varphi^2(x), \tag{9.4.4}$$

тогда после конформного преобразования (9.4.1) получается 5-мерная геометрия с часто использовавшимся условием $G_{55} = -1$, а скалярное поле, перенесенное в правую часть, геометрически имитирует физическое поле, рассматриваемое в стандартной общей теории относительности как негеометрическое. Главное в такой теории состоит в способе представления величин $\chi(x)$ или $\varphi(x)$ через физические поля и выбор их зависимости от координат, как классических, так и дополнительной (-ых).

4. Пятимерная теория Вессона [18] основана на использовании нециклической зависимости величин от дополнительной координаты. Предлагается вариант 5-мерной теории, где зависимость от 5-й координаты характеризует распределение материи в пространстве-времени.

В литературе обсуждались и некоторые другие геометрические способы описания массивной материи.

Отметим, что на этом пути встречается та же трудность с описанием спинорной материи, что и в геометродинамике Уилера. Вообще же, это направление исследований можно уподобить работам по поиску единой нелинейной теории на основе бозонных полей, рассмотренным в разд. 4.7, где еще возникают трудности в построении устойчивых образований, соответствующих материальным частицам.

9.5. Теория супергравитации

В теоретической физике последних двух десятилетий XX века интенсивно исследовалась так называемая *теория супергравитации* (см., например, [117]), опирающаяся на одну обобщенную категорию «искривленного» суперпространства. Эта теория возникла в середине 70-х годов в работах П. ван Ньювенхейзена, С. Феррары, Д. Фридмана, а также С. Дезера и В. Зумино. Много сделали для развития данной программы В. И. Огиевецкий, М. Дафф, Р. Е. Каллош и другие авторы. Можно сказать, что в этом направлении исследований были возрождены идеи Клиффорда и Уилера об описании искривленным пространством всех видов материи, но предлагалось это делать с учетом принципа суперсимметрии между бозонными и фермионными полями. Фактически выдвигалась идея использовать многомерную теорию, однако с дополни-

тельными не классическими, а грассмановыми координатами, т. е. во главу угла ставилось введение именно спинорных частиц.

Приведем высказывания некоторых ведущих теоретиков в этой области о сути и задачах данной программы.

Дж. Салам (1981 г.): «Построение расширенных теорий супергравитации ($N = 2, 3, \ldots, 8$) породило надежду на то, что частицы со спином 1 и 2, посредники всех четырех фундаментальных взаимодействий (в том числе и гравитации), плюс хиггсовы частицы, а также материальные «источники» (частицы с полуцелыми спинами) удастся объединить в один супермультиплет расширенной теории супергравитации, объединив тем самым «мрамор» гравитации с «каркасом» материи — как мечтал Эйнштейн» [107, с. 16].

Р. Э. Каллош (1985 г.): «Почему же теории суперсимметрии и супергравитации исследуются столь интенсивно уже второе десятилетие, хотя до сих пор нет экспериментальных подтверждений того, что эти теории правильно описывают природу? По-видимому, успехи единой теории слабых, электромагнитных и сильных взаимодействий возродили надежду построить единую теорию всех фундаментальных взаимодействий, включая гравитационные» [55, с. 6].

Суть суперсимметий уже рассматривалась в главе 4. Теория супергравитации возникает в результате слияния двух идей: 1) суперсимметрии и 2) калибровочного подхода к описанию гравитации.

Как и во всякой суперсимметричной теории, следует различать варианты теории супергравитации с различными N. При $N = 1$ имеем простую супергравитацию, в которой в единый мультиплет попадает поле спина 2 (гравитон) с одним майорановским спинором — частицей спина $3/2$, названной гравитино. Эта теория имеет лишь академический интерес и не может претендовать на реалистическую модель, объединяющую гравитацию с известной материей. Более богатые возможности содержатся в расширенных теориях супергравитации с $N > 1$, где партнерами гравитона выступают N гравитино, $(1/2)N(N-1)$ векторных полей, $(1/6)N(N-1)(N-2)$ полей спина $1/2$ и ряд скалярных полей.

В суперсимметричных теориях гравитация учитывается уже тем фактом, что в ней не может быть более одного поля спина 2, соответствующего гравитационному взаимодействию. Отсюда следует, что N не может быть больше восьми. Максимально расширенная $N = 8$ теория супергравитации в одном супермультиплете объединяет одно поле спина 2, восемь полей со спином $3/2$, 28 полей со спином 1, 56 полей со спином $1/2$ и 70 скалярных полей (со спином 0). Этот вариант представляет-

ся наиболее перспективным для объединения всех известных бозонных и фермионных полей. Однако возникли трудности с отождествлением множества возможных полей с известными физическими полями. Были выдвинуты различные предположения о характере возникающих полей, в частности, предлагалось их трактовать как некие преполя или пречастицы (преоны), из которых предстоит в виде каких-то связанных комбинаций образовать известные нам лептоны, кварки и другие частицы.

В литературе конца XX века было представлено еще одно направление исследования супергравитации, более соответствующее духу многомерных геометрических моделей типа теории Калуцы—Клейна. Это теория супергравитации в пространстве-времени $n > 4$ измерений, т. е. когда суперпространство содержит дополнительные и классические координаты (как в теориях Калуцы—Клейна), и фермионные координаты из соответствующей размерности n алгебры Грассмана. Такие теории получили название *теории супергравитации Калуцы—Клейна*.

В 1978 году было установлено, что структура суперсимметричных алгебр вместе с ограничениями на спины получающихся полей устанавливает верхний предел для размерности n пространства-времени, в котором формулируется теория супергравитации. Оказалось, что размерность n не может превышать одиннадцати.

Особый интерес представляет простая супергравитация ($N = 1$) в одиннадцати измерениях. В числе основных доводов в пользу такого варианта супергравитации Калуцы—Клейна называют следующие. Во-первых, ссылаясь на Е. Виттена, утверждают, что одиннадцать — это минимальное число измерений, необходимое для введения калибровочной группы $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ в рамках общепринятого подхода к объединению взаимодействий. Во-вторых, это максимальное число измерений, совместимое с отмеченными выше условиями построения суперсимметричной теории.

11-мерная теория супергравитации исследовалась в работах Т. Кремера, Дж. Шерка и других авторов. Естественно, все дополнительные координаты выбирались пространственно-подобными. Такая теория оказывается довольно жесткой, если, конечно, потребовать, чтобы уравнения были второго порядка и чтобы она содержала только один свободный параметр — гравитационную постоянную. Все попытки как-либо модифицировать теорию окончились неудачей. Более того, в ней условиями суперсимметрии запрещено взаимодействие с внешней материей (не входящей в супермультиплет полей, полученный калибровочным образом). Такие образом, эта теория не терпит половинчатости: либо это теория всего, либо она неверна.

Все максимальные теории супергравитации с меньшим числом измерений ($n < 11$) могут быть получены из теории супергравитации с $n = 11$ и $N = 1$ с помощью процедуры размерной редукции, т. е. методом понижения размерности до нужной, как это делается в обычной теории Калуцы—Клейна.

Несмотря на отсутствие непосредственных экспериментальных данных, побуждающих работу над этой программой, теоретики занимались исследованием этой проблемы с огромным энтузиазмом, будучи глубоко убежденными в том, что осуществляют давнюю мечту Эйнштейна об истинном объединении гравитации и материи.

Со временем оценки перспектив теории супергравитации стали более осторожными. Центр тяжести исследований переместился в область исследований n-бран, включающих в себя идеи супергравитации (суперструн), но заменяющие пространственно 1-мерные струны на 2-мерные мембраны или n-мерные n-браны.

9.6. Метафизика проблемы квантования гравитации

9.6.1. Сущность проблемы квантования гравитации

Совместное рассмотрение двух категорий геометрического миропонимания: искривленного пространства-времени и частиц (квантованной фермионной материи) ставит ряд серьезных проблем, объединяемых под общим названием «проблема квантования гравитации». На попытки ее решения в XX веке было затрачено очень много усилий. Наиболее широким пониманием этой проблемы считалось *объединение принципов двух столпов теоретической физики XX века: общей теории относительности и квантовой теории поля.* Действительно, как это уже было продемонстрировано, эти два раздела теоретической физики опираются на разные системы понятий и принципов и такая двойственность не могла не озадачивать физиков.

С позиций принятого в этой книге метафизического подхода и трех миропониманий данная проблема представляется еще шире. Ее следует понимать даже не как совмещение или объединение двух миропониманий, а как *попытку составить представление о более глубинных основаниях физического мироздания, исходя из его рассмотрения под двумя разными углами зрения.* При этом надо иметь в виду, что общая теория относительности не исчерпывает всего геометрического миропонимания, которое затрагивает и другие виды физических взаимодействий. Опыт исследований многомерных геометрических моделей физи-

ческих взаимодействий позволяет вскрыть новые аспекты данной проблемы.

Анализ показывает, что из общей «проблемы квантования гравитации» вычленяются несколько достаточно серьезных задач (подпроблем). Назовем главные из них:

1. Влияние квантовых закономерностей на классические геометрические представления.
2. Описание первично и вторично квантованных фермионных полей в искривленном пространстве-времени, т. е. вопросы вложения полей частиц не в плоское, как это было в главе 4, а в искривленное пространство-время. Здесь к прежним трудностям добавляются новые.
3. Попытка распространения методов вторичного квантования на гравитацию, т. е. анализ гипотезы существования гравитационных квантов — гравитонов.
4. Попытка вывести геометрию (кривизну пространства-времени) из квантовой теории.
5. Попытка геометрической интерпретации закономерностей квантовой механики (теории).

9.6.2. Проблема квантования гравитации в различных парадигмах

На пути решения перечисленных задач, особенно трех последних, встретились значительные математические трудности. К ним следует добавить *фактор экспериментального плана*. Как правило, физические теории возникали на базе накопленных наблюдательных данных. Поиск же квантовой теории гравитации проводится лишь на основе логических соображений. В XX веке не были непосредственно обнаружены даже гравитационные волны, представляющие классический аспект гипотетических гравитонов.

В этих условиях физикам-теоретикам приходилось опираться на соображения метафизического характера. Анализ позиций различных исследователей (см. [20]) показывает, что в XX веке *проявлялось три основных подхода к проблеме квантования гравитации, соответствовавших трем сформулированным выше миропониманиям*. Первые из двух названных проблем можно считать общими для всех трех подходов, тогда как последние три имеют различный характер.

В экстремально геометрической парадигме гравитация — это вид материи. В духе представлений Декарта полагалось, что существует

фон из единой материи, описываемой пространственно-временными характеристиками. Все другие виды материи, известные и неизвестные, — проявления этой «первичной» материи в виде различных геометрических образов. В таком подходе главной представляется пятая проблема, в частности, необходимо геометрически определить физические объекты с квантовыми свойствами. Конечно, в этом подходе допускается и существование квантов особой гравитационной материи в виде гравитонов.

Этого миропонимания придерживался Эйнштейн, пытавшийся от геометрии прийти к обоснованию квантовых закономерностей.

В дуалистической парадигме физического миропонимания гравитация трактуется по аналогии с теориями других физических взаимодействий, главным образом, по аналогии с теорией электромагнитного поля. Сторонники физического миропонимания, как правило, признавали математический аппарат общей теории относительности, но вкладывали в него свою интерпретацию. Согласно их пониманию, гравитация — частично материя, частично — свойство пространства-времени. Это соотносилось с тем, что в теории электромагнитного поля компоненты векторного потенциала разделяются на продольные и поперечные части, последние из которых квантуются. Так же предлагалось поступать и в случае гравитации: следовало выделить поперечные части метрического тензора, которые предлагалось понимать как вид гравитационной материи — гравитоны, а оставшиеся компоненты метрики относили к характеристикам пространства-времени как «формы существования материи». Основные силы исследователей, а их было большинство, были нацелены на решение третьей проблемы, в частности, на разделение геометрических характеристик на динамические и нединамические.

Согласно реляционному миропониманию, гравитация — лишь свойство пространства-времени, а пространство-время — совокупность отношений, в которые вступают отдельные части материи. Очевидно, что в таком понимании гравитации отпадает третья проблема, так как становится бессмысленным выделять из свойств отношений, в которые вступает материя, саму материю, т. е. вводить кванты гравитационного поля.

Отметим, что данный подход не снимает с повестки дня остальные из перечисленных проблем, но трактует их по-своему. Наиболее существенными здесь считаются следующие вопросы: можно ли понимать квантовую теорию как отражение того факта, что микрочастицы вступают друг с другом в отношения, отличающиеся от описываемых классическим пространством-временем? Если да, то можно ли их сформулировать на основе более глубоких понятий и каких именно? Как сосуществуют и переходят друг в друга различные отношения между частями

материи в разных масштабах? И так далее. Эти вопросы рассмотрены в части III этой книги.

9.6.3. Состояние исследований проблемы квантования гравитации

В литературе представлен широкий спектр мнений о состоянии и путях решения данной проблемы, зависящий от используемой парадигмы. Многие сторонники физического миропонимания исходили из того, что в существующих общей теории относительности и квантовой теории имеется все необходимое для их совмещения, считали, что все трудности следуют из того, что расположение материала в теориях неудачное. Перед синтезом двух теорий их следует как-то перетасовать. Возможно, в теориях имеется даже лишний, фальшивый материал, затрудняющий решение проблемы.

Такая точка зрения преобладала в 60-е — 70-е годы. В итоге появилось большое количество эквивалентных формулировок общей теории относительности (геометрические, лагранжевы, гамильтоновы, на основе различных переменных: метрическая, тетрадная, монадная, формализм Палатини, путезависимая формулировка Мандельстама и другие), а также ряд формулировок квантовой теории (каноническое квантование, квантование на основе дираковского канонического формализма, ковариантное квантование методом Пайерлса, швингеровская теория источника и т. д.).

Приверженцы же геометрического и реляционного миропониманий были настроены менее оптимистично, полагая, что для решения стоящих проблем не хватает каких-то принципиально новых идей. Многолетние попытки их решения убедили в том, что они имеют более глубокие корни, нежели это многим представлялось на первых этапах исследований. Постепенно становилось ясно, что здесь затрагивается фундамент представлений о классическом пространстве-времени и о других ключевых понятиях физики.

9.7. Планковская длина

Приведем довольно простые рассуждения, свидетельствующие о том, что параллельное существование квантовой теории и общей теории относительности ставит ограничения на область применения классических координат отдельно, вне связи с импульсами (в отличие от квантовой механики).

Пусть мы хотим с помощью некоей частицы измерить какое-то очень малое расстояние Δx. Из квантовомеханического соотношения неопределенностей следует, что для Δx должно выполняться условие $\Delta x \geq \hbar/\Delta p$, где Δp — неопределенность импульса частицы. Для измерения очень малых Δx следует использовать частицы с большим импульсом, т. е. должно быть $\Delta p \simeq \Delta E/c \sim \Delta mc$, где E — энергия, m — масса частицы. Следовательно, можно записать соотношение

$$\Delta x \geq \frac{\hbar}{c\Delta m}. \tag{9.7.1}$$

Согласно общей теории относительности, вблизи точечной массы пространство-время описывается метрикой Шварцшильда, т. е. согласно (7.4.1),

$$g_{00} = 1 - \frac{2Gm}{c^2\Delta x}. \tag{9.7.2}$$

Расстояния остаются расстояниями, а время — временем лишь до тех пор, пока сохраняется стандартная сигнатура 4-мерной метрики, т. е. пока $g_{00} > 0$. Отсюда следует

$$r \sim \Delta x > \frac{mG}{c^2} \simeq \frac{G\Delta m}{c^2}. \tag{9.7.3}$$

Умножая друг на друга равенства (9.7.1) и (9.7.3), находим для Δx ограничение снизу, определяемое комбинацией фундаментальных констант:

$$\Delta x > \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} \equiv l_{Pl} \simeq 1,6 \cdot 10^{-33}\,\text{см}. \tag{9.7.4}$$

Это так называемая *планковская длина*.

К данному результату можно прийти с помощью иных мысленных экспериментов, в которых длина измерялась бы световыми сигналами, взвешиванием и т. д. Этот вопрос подробно анализировался в работах М. П. Бронштейна (1936), Т. Редже (1958), Х. Тредера (1963) и других авторов. Все способы рассуждений приводят к выводу: невозможны расстояния, меньшие планковской длины l_{Pl}. Аналогично можно сделать вывод о бессмысленности промежутков времени, меньших $l_{Pl}/c \sim 10^{-43}c$.

Данные рассуждения заставляют задуматься о том, имеем ли мы право вообще говорить о сколь угодно малых длинах (бесконечно малых величинах).

С помощью этих и некоторых других формул можно найти ограничения на значения других геометрических величин. В частности, име-

ют место коллективные соотношения неопределенностей для символов Кристоффеля и координат:

$$\Delta\Gamma(\Delta x)^2\Delta t > \frac{l_{Pl}^2}{c}. \tag{9.7.5}$$

Планковской длине соответствует *планковская масса*

$$m_{Pl} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{c\hbar}{G}} \sim 1,1 \cdot 10^{-5}\text{г}. \tag{9.7.6}$$

В работах ряда авторов обсуждался вопрос о возможном физическом смысле этой массы. Отметим, что в многомерных геометрических моделях автоматически возникают массы заряженных частиц, отличающиеся от планковской массы на постоянную тонкой структуры. Там и в ряде других мест возникает задача перенормировки этой массы до наблюдаемых значений масс элементарных частиц. Отметим, что перенормировка больших, но конечных значений масс представляется предпочтительной по сравнению с перенормировками бесконечных выражений в квантовой теории поля.

9.8. Частицы в искривленном пространстве-времени

Остановимся на двух вопросах этой довольно обширной темы: 1) на описании фермионных полей в искривленном пространстве-времени и 2) на квантовых космологических моделях.

Описание фермионных полей в искривленном пространстве-времени в свое время представляло сложную математическую задачу, над которой работали Э.Шредингер и ряд других авторов. Эта задача была решена в работах В. А. Фока и Д. Д. Иваненко в конце 20-х годов. Проблема состояла в том, что понятие 4-компонентного спинора определено лишь в плоском пространстве-времени, где имеется группа преобразований Лоренца. Часто говорят о спинорном представлении группы Лоренца. В искривленном же пространстве-времени вместо группы Лоренца имеется группа допустимых координатных преобразований, не допускающая спинорного представления. В работах Фока и Иваненко было предложено для решения задачи использовать так называемый тетрадный формализм. Суть его состоит в том, что в каждой точке пространства-времени определяется четверка взаимноперпендикулярных векторов (тетрада). Очевидно, что локально, в этой точке, можно определить 6-параметрическую группу ее вращений (группу Лоренца) и тем самым локально определить спиноры. Из компонент тетрады строится метрический тензор $g_{\mu\nu}$.

Связь между спинорами в разных точках устанавливается на основе того, что из спиноров можно образовать векторы, которые переносятся из одной точки в другую по известным геометрическим законам. Зная этот закон и как выражается вектор через спиноры, удалось определить закон параллельного переноса спиноров, а следовательно, и вид так называемой ковариантной производной от спинора, ранее упоминавшейся в многомерных геометрических моделях физических взаимодействий. Она была найдена в виде

$$\frac{\partial\psi}{\partial x^\mu} \to \nabla\psi = \frac{\partial\psi}{\partial x^\mu} - \frac{1}{4}\Delta_{\mu\nu\sigma}\gamma^\nu\gamma^\sigma\psi - iA_\mu\psi, \tag{9.8.1}$$

где $\Delta_{\mu\nu\sigma}$ — коэффициенты вращения Риччи, выражающиеся через первые производные от компонент векторов тетрады. Они соответствуют компонентам символов Кристоффеля в метрической формулировке гравитации. Эта формула позволяет записать уравнения Дирака для спинорной частицы (4.3.8) в искривленном пространстве-времени:

$$\left(-i\gamma^\mu\frac{\partial}{\partial x^\mu} - A_\mu\gamma^\mu + \frac{1}{4}\Delta_{\mu\nu\sigma}\gamma^\mu\gamma^\nu\gamma^\sigma + \frac{mc}{\hbar}\right)\psi = 0. \tag{9.8.2}$$

С написанием этого уравнения было связано несколько интересных дискуссий. Одна из них состоялась между В. А. Фоком и Г. Вейлем и была основана на том, что при нахождении ковариантной производной возникает произвол в виде некоторого вещественного векторного поля A_μ, которое стоит на месте электромагнитного векторного потенциала в удлиненной производной (3.2.2). На этом основании Фок делал вывод, что таким образом решается проблема объединения гравитации и электромагнетизма. Вейль же указывал, что данное решение показывает лишь место, где может стоять электромагнитный векторный потенциал в каким-либо образом объединенной геометрической теории.

Другой интерсный вопрос был связан с построением γ-матричной формулировки общей теории относительности, когда дираковские γ-матрицы рассматриваются в качестве первичных геометрических величин, а метрический тензор становится вторичной величиной, строящейся из матриц, согласно формуле

$$\gamma_\mu\gamma_\nu + \gamma_\nu\gamma_\mu = 2g_{\mu\nu}I_4, \tag{9.8.3}$$

заменяющей закон (4.3.10).

Третий вопрос был связан с возникшей возможностью построить теорию, где ψ-функция представляет собой не набор компонент спинора, а совокупность из четырех скаляров.

Обобщения формулы (9.8.1) на случай многомерных искривленных пространств использовались при построении многомерных геометрических моделей физических взаимодействий.

Квантовые космологические модели. К вопросу описания материи в искривленном пространстве-времени непосредственно примыкают исследования так называемых квантовых космологических моделей. В них речь идет не о вложении волновой функции отдельных частиц в искривленное пространство-время, а о квантовом описании материи всего мира, как бы «вмороженной» в пространство, когда вместо движения материи можно рассматривть эволюцию сопутствующего пространства. В классической области это реализуется в однородных изотропных космологических моделях Фридмана (см. разд. 7.5). Возник соблазн построить квантовые аналоги классических моделей, в которых вместо физических характеристик материи выступали бы геометрические величины, описывающие пространство-время, куда «вморожена» материя. В такой замене усматривается принипиально важный момент — квантовая теория материи как бы становится квантовой геометрической теорией.

Для решения такой задачи, прежде всего, необходимо было опереться на нормальную сопутствующую материальной среде систему отсчета, где имеет место глобальное расщепление 4-мерного пространства-времени на время и ортогональное ему 3-мерное пространственное сечение.

Состояние геометрической системы предлагалось описывать компонентами 3-мерного метрического тензора во всех точках пространства. В работах Дж. Уилера и Б. ДеВитта для этой цели была разработана теория *классических суперпространств*, которые не следует путать с суперпространствами, содержащими грассмановы переменные. (Часто классическое суперпространство называют суперпространством Уилера—ДеВитта.) Классическое суперпространство определяется как множество всех возможных 3-мерных римановых геометрий (метрик), определенных на одном и том же 3-мерном координатном многообразии. Каждое такое риманово пространство можно понимать как точку в классическом суперпространстве. Введены понятия обобщенной метрики, геодезических линий и других уравнений в классическом суперпространстве.

Особенно просто эти и другие уравнения в суперпространстве записываются для случаев 4-мерных миров, описываемых всего несколькими параметрами, т. е. метриками с симметриями. Таковыми являются пространственные сечения однородных изотропных космологических моделей Фридмана или ряда других метрик.

Схема квантования однородных изотропных космологических моделей Фридмана была проанализирована Б. ДеВиттом и продолжает обсуждаться многими другими авторами. Бралось одно из уравнений Эйнштейна — компонента 00 (скалярная проекция уравнений Эйнштейна на время используемой системы отсчета) — так называемая гамильтонова связь, соответствующая энергии (гамильтониану системы). Геометрическая (левая) часть этого уравнения легко представляется в виде суммы двух частей, одну из которых можно трактовать как кинетическую энергию, а вторую — как потенциальную энергию. Данная космологическая модель очень проста в том смысле, что характеризуется всего одним параметром — радиусом мира R. Кинетическая часть энергии представляется квадратом временной производной от R, т. е., можно сказать, имеет вид квадрата импульса. Далее предлагается переход к квантовой схеме, аналогичный стандартной процедуре квантования одной частицы, когда от соотношения между энергией и импульсами частицы переходят к операторному выражению и получают волновое уравнение Шредингера или релятивистское уравнение Клейна—Фока. В итоге получается уравнение ДеВитта, напоминающее одномерное уравнение Клейна—Фока. Решения такого уравнения хорошо известны. Используя их, можно представить развитие мира (расширение, а затем сжатие) как эволюцию одномерного волнового пакета в суперпространстве.

Следующий шаг был сделан Ч. Мизнером, который рассмотрел более сложную однородную анизотропную космологическую модель. Эволюция этой классической модели состоит в том, что мир сжимается и расширяется попеременно по-разному вдоль трех пространственных направлений. В этом случае Вселенная характеризуется тремя параметрами: один параметр соответствует общему масштабу мира, а остальные два определяют степень его анизотропии. Аналогичная случаю ДеВитта процедура приводит к трехмерному волновому уравнению Мизнера, опять по структуре напоминающему уравнение Клейна—Фока. В них роль времени выполняет масштабный фактор, а роль пространственных координат — параметры анизотропии. Опять эволюция мира описывается волновым пакетом.

Эти две модели можно рассматривать лишь как первые шаги в направлении построения геометрической квантовой теории, однако уже здесь встретился ряд принципиальных трудностей.

1. Прежде всего, встает вопрос, каким образом переходить от двух простых случаев к теориям с меньшими симметриями.

2. Возникают трудности в выборе временного параметра эволюции для всего мира. Кроме того, имеются проблемы с формулировкой начальных и граничных условий при решении волновых уравнений для физической задачи такого типа.
3. Физическое осмысление полученных решений сопряжено с огромными проблемами. Что означает функционал состояния для квантованного мира, когда для него не существует внешнего классического прибора? Как понимать суперпозицию гармоник мира, описывающих множество различных миров, в том числе сжимающихся и расширяющихся и т. д.?

Таким образом, уже на первых этапах развития программы, а они растянулись на несколько десятилетий, появилось множество вопросов концептуального характера, на которые не было дано удовлетворительных ответов.

9.9. Гипотеза существования гравитонов

В середине XX века центральное место в исследованиях проблемы квантования гравитации в рамках физического миропонимания занимала третья из названных выше задач. Введение гравитонов и изучение связанных с ними обстоятельств считались основной задачей квантования гравитации.

Главные доводы в пользу решения проблемы квантования гравитации в данном понимании:

1. Поскольку большинством исследователей гравитация рассматривалась как физическое поле, равноправное с другими известными полями — электромагнитным, бозонными полями слабых и сильных взаимодействий, — то подразумевалось, что ее следует наделять общими свойствами других полей. В частности, если все физические поля квантуются, то почему же гравитационное поле является исключением? Поскольку принципы квантования наиболее хорошо были разработаны для электромагнитных взаимодействий, то пытались квантовать гравитацию по образу и подобию электромагнитного поля.
2. Неоднократно высказывалось соображение, что если предполагать лишь классический (неквантованный) характер гравитационного взаимодействия, то это допускало бы принципиальную возможность определения координат и импульсов частиц при помощи гравитации более точно, чем это дозволено соотношением неопределенностей,

что означало бы несостоятельность основных принципов квантовой теории.

3. Отмечалось, что не найдено непротиворечивого совмещения неквантованной левой (геометрической) части уравнений Эйнштейна (7.2.9) с квантованными источниками в правой (физической) части уравнений. Полагалось, что квантовое поведение материи с необходимостью влечет за собой квантовое описание порожденного этой материей гравитационного поля.
4. Имелось множество надежд на то, что с помощью квантовой теории гравитации удастся решить ряд проблем физики микромира, особенно на сверхмалых расстояниях, где гравитационные взаимодействия становятся сравнимыми с другими взаимодействиями. В частности, ожидалось, что такая теория поможет пролить свет на истоки расходимостей в квантовой теории поля, поскольку в теории гравитации возникают характерные длины — гравитационные радиусы частиц, а также планковская фундаментальная длина $l_{Pl} = \sqrt{\hbar G/c^3}$.

Высказывался и ряд других аргументов в пользу построения квантовой теории гравитации.

Трудности квантования гравитации. Имелось несколько причин, препятствовавших решению данной проблемы, главными из которых были: а) нелинейность уравнений Эйнштейна и б) общая ковариантность теории. Поясним это.

Нелинейность уравнений обычно приводит к нарушению принципа суперпозиции, т. е. к тому, что сумма решений уже не является решением. Это препятствует применению обычной методики квантования, когда отдельные решения представляются как элементарные кванты соответствующего поля. Уравнения Эйнштейна нелинейны, поэтому обычная процедура квантования затруднена.

Ковариантность теории гравитации в конце концов приводит к тому, что гравитационное взаимодействие описывается значительно большим числом переменных (десятью компонентами метрического тензора $g_{\mu\nu}$), нежели число ожидаемых динамических переменных (две степени свободы). Подобная ситуация имеет место и в теории электромагнитного поля: при четырех компонентах векторного потенциала A_μ имеются всего две динамические степени свободы (два состояния поляризации). Однако в электродинамике уравнения просты, и не представляет труда исключить из рассмотрения «лишние» переменные. В общей теории относительности уравнения чрезвычайно сложны и не удается произвести исключения «лишних» переменных в общем случае.

Остановимся на двух моментах этого направления исследований.

Квантование линеаризованного гравитационного поля. Указанные выше трудности квантования гравитации (по образу и подобию электромагнитного поля) можно обойти, если ограничиться лишь случаем слабо искривленного пространства-времени, когда метрический тензор представляется в виде

$$g_{\mu\nu} = \eta_{\mu\nu} + h_{\mu\nu}, \tag{9.9.1}$$

где $\eta_{\mu\nu}$ — метрический тензор пространства-времени Минковского, а $|h_{\mu\nu}| \ll 1$ — малые добавки. Тогда можно считать, что гравитация описывается величинами $h_{\mu\nu}$, понимаемыми как обычное тензорное поле второго ранга в плоском пространстве-времени. Нелинейными слагаемыми в кривизне и в уравнениях Эйнштейна предлагается пренебречь и рассматривать $h_{\mu\nu}$ как линейное поле, аналогичное электромагнитному. При такой постановке задачи легко можно перенести стандартные методы квантовой электродинамики на гравитацию. Из 10 компонент $h_{\mu\nu}$ легко устраняются 8 «лишних» компонент и квантуются две динамические степени свободы — две поперечно-поперечные комбинации: h_{23} и $(1/2)(h_{22} - h_{33})$ (если волна распространяется в направлении оси x^1). В классическом варианте теории указанные комбинации соответствуют двум поляризациям гравитационных волн, а в квантовом — двум типам гравитонов.

Согласно физическому миропониманию, гравитоны должны вести себя аналогично фотонам и квантам других бозонных полей: должны рождаться, уничтожаться, взаимодействовать с квантами других полей. Исключенные нелинейные слагаемые в тезоре кривизны можно восстановить и рассматривать нелинейности как взаимодействия гравитонов друг с другом. Такая теория в середине XX века анализировалась многими авторами, в том числе и Р. Фейнманом. Были подсчитаны сечения различных конкретных процессов (см., например, обзор в [20]).

В работах Д. Д. Иваненко [52] и других авторов обращалось внимание на теоретически возможные в таком подходе эффекты гравитационных трансмутаций элементарных частиц, в часности, на процессы аннигиляции электронно-позитронных пар в пару гравитонов и обратно. Им придавалось принципиальное, можно сказать, даже философское звучание. Они интерпретировались как *превращения обычной материи в пространство-время, т. е. как бы в свою «форму существования» и обратно.*

По поводу этого направления исследований можно высказать несколько критических замечаний.

Во-первых, вычисления показывают, что эффекты с участием гравитонов чрезвычайно слабы. Так, для электрона и позитрона, движущихся навстречу друг другу со скоростями порядка одной сотой скорости света, сечение процесса их гравитационной аннигиляции имеет порядок $\sigma \sim 10^{-110}$см^2. Это чрезвычайно малая величина, не оставляющая никаких надежд на экспериментальное обнаружение подобных эффектов в обозримом будущем. Можно лишь рассуждать о принципиальной возможности эффектов в экстремально экзотических ситуациях типа окрестностей черной дыры или на начальных этапах рождения Вселенной.

Во-вторых, квантовая теория линеаризованного гравитационного поля неперенормируема. Напомним, это означает, что при учете более высоких порядков приближений (по константе G) возникают бесконечно большие величины, которые нельзя устранить подбором конечного числа бесконечных контрчленов. Другими словами, учет членов, которыми пренебрегли при линеаризации теории, приводит к бессмысленным выражениям.

В-третьих, ограничение лишь малыми добавками в метрике приводит к нарушению ряда основополагающих принципов общей теории относительности, например, общей ковариантности теории.

Эти и другие трудности заставляют относиться к подобным исследованиям как к анализу одной из мыслимых гипотез метафизического характера.

Дираковский канонический формализм общей теории относительности развивался с целью корректного исключения на классическом уровне из компонент метрики «лишних», нединамических переменных, не подлежащих квантованию. В самом общем случае это удалось сделать для четырех «лишних» компонент метрики $g^{0\mu}$. Исследования показали, что они имеют смысл четырех компонент скорости τ^μ так называемых «нормальных систем отсчета». Напомним, что это привилегированный в общей теории относительности класс систем отсчета без вращения. Характерно, что 4-скорость этого идеального объекта, лишенного массы и какого-либо влияния на кривизну, исключается из процедуры квантования. Таким образом, понятия системы отсчета оказалось существенным при рассмотрении проблемы квантования гравитации. Для упрощения решения данной задачи следует использовать систему отсчета без вращения, где возможно глобальное расщепление 4-мерного пространства-времени на время и 3-мерное пространственное сечение наблюдателя.

Оставшиеся четыре лишние степени свободы в самом общем случае не выделяются, однако исследования показали, что они определяют

компоненты вектора l^μ, характеризующего направление распространения волнового процесса или движения гипотетических гравитонов. При этом оказалось, что для прояснения картины эти векторы должны быть выбраны так, чтобы можно было в 3-мерном пространственном сечении системы отсчета глобально выделить 2-мерный волновой фронт процесса. Тогда то, что подлежит квантованию, т. е. две динамические степени свободы метрики, описывают два типа деформаций 2-мерной поверхности, которые были охарактеризованы в разделе 7.6, посвященном гравитационным волнам.

В самом общем случае решение данной проблемы так и не было доведено до конца, как полагают, из-за встретившихся на этом пути больших математических трудностей. В этой связи уместно вспомнить украинского философа Г. Сковороду, поблагодарившего Создателя за то, что он создал все нужное простым, а все сложное ненужным.

9.10. Идея Сахарова об индуцированной природе гравитации

В последней трети XX века после неудач квантования гравитации обычными методами квантовой электродинамики общественное научное мнение постепенно стало склоняться к иному пониманию проблемы квантования гравитации и сущности самой гравитации. В 1967 году А. Д. Сахаров выдвинул идею о вторичном, производном характере искривленности пространства-времени, об обусловленности гравитации свойствами квантованных (фермионных) полей. Он писал: «Я решил рассмотреть те изменения нулевых колебаний полей элементарных частиц, которые имеют место при переходе от плоского четырехмерного пространства-времени к искривленному, и связать эти изменения энергии с выражениями, входящими в уравнение теории тяготения Эйнштейна. Эйнштейн (и независимо от него Давид Гильберт) *постулировали* эти выражения, а коэффициент при них — обратно пропорциональный гравитационной постоянной — брали из опыта. По моей идее фундаментальный вид уравнений теории тяготения (т. е. общей теории относительности), а также численная величина гравитационной постоянной — должны следовать из теории элементарных частиц «сами собой», без каких-либо специальных гипотез.

Зельдович встретил мою идею с восторгом и вскоре сам написал работу, ею инициированную. Я назвал свою теорию «теорией нулевого лагранжиана». Это название связано с тем, что теоретикам часто удобно

иметь дело не с энергией и давлением, а со связанной с ними другой величиной — так называемой функцией Лагранжа; это разность кинетической и потенциальной энергий (на квантовом языке — с лагранжианом). В части своих работ я пользовался этим аппаратом. Для наглядного изображения своей идеи я придумал образный термин — «метрическая упругость вакуума». При внесении в вакуум материальных тел, обладающих некоторой энергией, они стремятся его «искривить», т. е. изменить его метрику (геометрию). Но вакуум «противится» такому изменению, так как благодаря происходящим в нем квантовым движениям он обладает «упругостью»... По масштабам микромира упругость вакуума очень велика, т. е. гравитационные взаимодействия для частиц микромира — слабы.

Потом я узнал, что у меня были предшественники в этого рода идеях (у меня нет под рукой ссылок, кажется один из них — Паркер), а также были авторы, которые независимо пришли к близким идеям (среди них — О. Клейн)... Дальнейшее развитие идеи «индуцированной гравитации» получили в работах Хидецуми Теразава (H. Terazawa) и, в последнее время, в работах Стивена Адлера и Д. Амати и Г. Венециано. Я также не раз возвращался к ним...» [108, с. 180–181].

К концу XX века становилось ясно, что приведенные выше доводы в пользу традиционного квантования гравитации оказываются несостоятельными. Приведем несколько высказываний по этому вопросу:

С. Л. Адлер: «Однако стандартная формулировка «квантования гравитации» предполагает, что гравитационное действие Эйнштейна-Гильберта (пропорциональное кривизне R пространства-времени) является фундаментальным квантовым действием для гравитации. Но так как гравитационные эксперименты относятся к макроскопическим масштабам, экспериментальных оснований для этого предположения нет. Таким образом, прежде чем переходить к квантованию гравитации, нужно ответить на вопрос: является ли эйнштейновская теория фундаментальной или она всего лишь некая эффективная теория поля, описывающая длинноволновый предел (т. е. область низких энергий) более общей теории, выглядящей совершенно иначе в малых масштабах?... В интересной статье, опубликованной в 1967 году (до того, как была понята суть взаимодействия Ферми), Андрей Сахаров высказал предположение о том, что гравитационное взаимодействие не является фундаментальным, и указал способ получения действия Эйнштейна—Гильберта в низкоэнергетическом пределе. Он исходил из того, что суть гравитации не в существовании кривизны пространства-времени, а в наличии большой «метрической упругости», противодействующей сильному ис-

кривлению пространства-времени, за исключением мест, где сконцентрировано очень много вещества» [108, с. 187].

Х. Теразава: «В 1967 году Сахаров выдвинул идею, явившуюся новым словом в теории гравитации. Следуя Уилеру, назовем этот подход «предгеометрией». В предгеометрии гравитация возникает в результате квантования полей материи, тогда как общая теория относительности Эйнштейна является эффективной теорией в длинноволновом пределе. (...) Истинное значение предгеометрии возможно даже глубже, чем первоначально представлял Сахаров. В каком-то смысле на важность такого рода концепции указывал еще Уилер в середине шестидесятых годов.» [108, с. 191–193].

Дж. Уилер: «Новая перспектива, открывающаяся перед предгеометрией, связана с новым подходом к оценке общей теории относительности. (...) В двух словах это означает, что гравитация для физики элементарных частиц — то же, что упругость — для атомной физики. Энергия упругой деформации есть не что иное, как энергия, запасенная в связях между атомами при деформации. Энергия, затрачиваемая на искривление пространства, есть не что иное, как возмущение вакуумной энергии полей и частиц, вызываемое этой кривизной» [82, с. 474].

П. Уэст: «Можно надеяться, что на некотором масштабе энергий суперсимметричные теории должны обеспечить согласованное квантование гравитации и в то же время объединить тяготение со всеми другими силами природы. Наиболее обещающие кандидаты для достижения этого долгожданного результата — теории суперструн. Но в этой связи следует напомнить, что гравитация может оказаться не фундаментальной силой, а быть обусловленной динамическим механизмом» [117, с. 14].

Цитирование высказываний подобного рода можно было бы продолжить и далее. Их основная мысль в том, что гравитация имеет индуцированный, производный характер, а не является первичной сущностью, как это постулируется в общей теории относительности Эйнштейна.

Однако в позициях процитированных авторов имеются существенные различия в путях реализации данной идеи. Уилер и вслед за ним Теразава предлагают развивать предгеометрию. Как считает Теразава, этот подход приводит к составной модели, <в которой не только кварки и лептоны, но и также хиггсовские скаляры, калибровочные бозоны и даже гравитон состоят из более фундаментальных частиц — субкварков>. У Сахарова и Адлера гравитация обусловлена флуктуациями вакуума элементарных частиц (фермионов). Имеются и другие предложения по реализации высказанной Сахаровым идеи.

В бинарной геометрофизике, рассматриваемой в третьей части, предлагается иной путь осмысления соотношения гравитации и квантовой теории, однако уже не в рамках рассмотренных физического и геометрического миропониманий, а на основе третьего, реляционного миропонимания. Следует сразу же подчеркнуть, что в последнем подходе гравитация также имеет индуцированный характер, однако это реализуется принципиально иным образом.

9.11. Проблема квантования и многомерие

В XX веке высказывались две экстремальные точки зрения на соотношение теории гравитации (геометрии) и квантовой теории, в которых фактически провозглашалась альтернатива: либо квантовую теорию выводить из геометрии, либо геометрию выводить из квантовой теории. Как уже отмечалось, первой точки зрения придерживался А. Эйнштейн. Он писал: «Мои усилия пополнить общую теорию относительности путем обобщения уравнений гравитации были предприняты отчасти в связи с предположением о том, что, по-видимому, разумная общая релятивистская теория поля, возможно, могла бы дать ключ к более совершенной квантовой теории. Это — скромная надежда, но никак не убеждение» [148, с. 626].

Геометрический взгляд на квантование пытались выработать в рамках 4-мерной теории, однако, как уже отмечалось, проблему следует понимать шире — учитывать, что общая теория относительности представляет собой лишь часть геометрического видения мира. А здесь вскрываются чрезвычайно важные обстоятельства: во-первых, квантовомеханические закономерности имеют место лишь в процессах, где проявляются дополнительные (скрытые) размерности (т. е. иные виды физических взаимодействий), во-вторых, в многомерии уже использовалась дополнительная размерность x^4 (в варианте 5-мерия Клейна—Фока) для описания масс покоя элементарных частиц.

В 40-х — 50-х годах Ю. Б. Румер предложил использовать 5-мерную теорию для объяснения закономерностей квантовой механики. Его подход проистекал из 5-мерной теории варианта О. Клейна и В. А. Фока конца 20-х годов. Особое значение для его развития имела известная работа А. Эйнштейна и П. Бергмана [145], в которой обсуждался вопрос о возможной причине ненаблюдаемости 5-й координаты. В названной работе была высказана мысль, что пятое измерение замкнуто с некоторым элементарным периодом b (компактифицировано). Как уже отмечалось в

главе 8, эта идея была использована в многомерных геометрических моделях физических взаимодействий в варианте многомерия Калуцы. Замкнутость дополнительных измерений связывалась с квантованностью электрического и других зарядов.

Ю. Б. Румер же взглянул на идею А. Эйнштейна и П. Бергмана о циклической зависимости от дополнительной координаты под иным углом зрения. Он предложил связать цикличность с волновым характером квантовой механики: «Можно, однако, прийти к представлению о топологически замкнутом 5-мерном пространстве совершенно с «другого конца», независимо от попыток построения единой теории тяготения и электричества. Этот путь ведет к обнаружению возможности приписать пятой координате S физический смысл действия, ее периоду b численную величину постоянной Планка $\hbar$ и приводит к глубокому синтезу геометрических идей, заложенных в общей теории относительности, с идеями квантовой теории. Привычное в современной физике разделение на «макроскопику» и «микроскопику», связанное с величиной постоянной Планка $\hbar$, находит свое геометрическое отображение в понятиях «четырехмерия» и «пятимерия» [104, с. 8].

Эту идею он развил в виде так называемой 5-оптики. Характеризуя ее суть, он писал: «Было бы, однако, неверным рассматривать пятимерную оптику только как один из вариантов единой теории поля; ее основное содержание заключается скорее в геометризации основных понятий квантовой физики, поскольку в ней квантование обнаруживается как проявление периодической зависимости всех физических полей от пятой координаты действия. Поскольку само «пятимерие» оказывается квантовым эффектом, становятся понятными неудачи всех предшествующих попыток построения пятимерных единых теорий поля на базе одних лишь классических представлений без существенного привлечения квантовых понятий» [104, с. 9].

Резюмируя результаты своих исследований по 5-оптике, Ю. Б. Румер, в частности, выделяет следующие положения:

«1. Пятая координата конфигурационного пространства получает отчетливый физический смысл действия. В отношении пятой координаты конфигурационное 5-пространство топологически замкнуто.
2. Вместо условия цилиндричности для метрических потенциалов и условия цикличности для волновых функций все физические величины удовлетворяют единому условию периодичности в 5-й координате действия.

3. Обнаруживается, что период пятой координаты имеет универсальную величину постоянной Планка, которая получает отчетливый геометрический смысл.
4. Квантование движения материальной точки есть проявление периодической зависимости физических величин от координаты действия.
5. Во всякой последовательной классической теории мы обязаны полагать $h \to 0$, т. е. пренебрегать периодической зависимостью физических величин от координаты действия. Во всякой последовательной квантовой теории мы обязаны учитывать периодическую зависимость физических величин от координаты действия. Поэтому, с точки зрения 5-оптики, является непоследовательным пренебрегать, как это делает современная квантовая механика, периодической зависимостью составляющих внешнего поля от координаты действия» [104, с. 150–151].

При развитии этой чрезвычайно интересной идеи Румер столкнулся с рядом трудностей, и данное исследование осталось незавершенным. С позиций сегодняшнего дня можно перечислить главные из возникших препятствий:

1) Несмотря на провозглашенную цель обоснования квантовой механики, Румер не удержался от включения в свою программу и задачи геометризации электромагнитного взаимодействия. Как сейчас ясно, для этой цели нужно было увеличить размерность еще на единицу, а Румер пытался остаться в рамках пяти измерений.
2) Электромагнитное поле Румер стал описывать, как и в варианте Калуцы, смешанными компонентами метрического тензора $G_{4\mu}$, однако в такой теории неоткуда было появиться электрическому заряду частиц и он ввел заряд в эти компоненты метрического тензора. В итоге нарушился принцип общей теории относительности и теории Калуцы, — пространство-время потеряло универсальный характер и превратилось в конфигурационное пространство, т. е. его свойства (метрика) стали зависеть от характеристик (зарядов) рассматриваемых частиц. Ю. Б. Румер пытался развить некую новую идеологию на базе этого свойства своей теории, но свести концы с концами ему так и не удалось.
3) Румер развивал свою теорию в рамках уже сформированного пространственно-временного многообразия и полагал, что для описания квантовой механики достаточно ограничиться устремлением в нуль константы b (постоянной Планка). Однако этого было явно недостаточно.

В связи с циклической зависимостью в 5-оптике Румера величин от координаты x^4, имеющей смысл действия, хотелось бы обратить внимание на замечания Дж. Уилера о роли фазы — мнимого показателя в экспоненте — в построении геометрии мира. Он писал: «Существование в основных законах классического пространства-времени величины такого типа как относительная «фаза» двух отдельных точек приводит исследователей, ищущих чисто геометрическое описание природы к заключению, что понятие «фазы» еще не нашло своего наиболее удачного геометрического средства выражения. (...) Однако Природа умеет «вести учет» различия «фаз». Значит, если Природа сводится к геометрии, «фаза» также должна быть сводима к геометрии» [115, с. 61]. В другом месте он задавался вопросом: «Могут ли идеи римановой геометрии и геометродинамики быть переформулированы в таком виде, чтобы концепция относительной «фазы» двух удаленных точек приобрела простой смысл?» [115, с. 207].

Полагаем, что 5-оптика Румера фактически представляет собой незавершенную попытку реализовать замысел Уилера с помощью циклической зависимости величин от дополнительной координаты действия.

9.12. Выводы и перспективы

В этой главе был продемонстрирован широкий спектр поисковых исследований XX века, не приведших к построению единой геометрической картины мира, несмотря на огромные затраченные усилия. Однако этот путь необходимо было пройти, чтобы убедиться в иллюзорности многих надежд и высказанных идей, чтобы понять, что данная проблема имеет более глубокий характер, чем это ожидалось.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Главными причинами неудач описания категории частиц исключительно классическими геометрическими средствами явились трудности введения спина элементарных частиц и квантования теорий такого рода.

2. Программа построения теории супергравитации, где во главу угла ставится задача описание фермионных частиц, не привела к ожидаемым результатам, что, видимо, свидетельствует о недостаточно фундаментальном характере принципа суперсимметрии.

3. В исследованиях геометрического миропонимания проявился ряд принципиальных недостатков этого взгляда на мир. Этот путь не позволил обосновать размерность, сигнатуру и ряд других свойств классической геометрии, что побудило искать возможности построения некоей

предгеометрии (в терминологии Дж. Уилера). Процитированный выше Х. Терезава писал: «Мне кажется, что во всяком случае предгеометрия является многообещающей теорией, новым направлением в физике (или в философии, но не метафизике), в которой некоторые основополагающие «священные» догмы теоретической физики, такие как 4-мерность пространства-времени, инвариантность при общих преобразованиях координат, микропричинность, принцип суперпозиции и т. п., не постулируются, а могут быть выведены и обоснованы» [108, с. 193]. Однако пока конкретного варианта предгеометрии не было предложено.

4. Неудачные попытки построения квантовой теории гравитации в рамках физического миропонимания по образу и подобию квантовой теории электромагнитного и других полей свидетельствуют о принципиально ином характере гравитационных взаимодействий.

5. В связи с предыдущим выводом следует обратить внимание на тот факт, что закономерности квантовой теории проявляются именно в тех взаимодействиях, которые вводятся при помощи дополнительных размерностей пространства-времени.

6. Гравитационное взаимодействие, послужив образцом для геометризации других известных видов взаимодействий, оказалось иной природы — индуцированным другими видами взаимодействий.

В этом вопросе следует согласиться с позицией А. Д. Сахарова и ряда других авторов. Так, Адлер писал: «В соответствии с обзором Вейнберга, в теории Великого объединения гравитация появляется на совершенно другой основе, чем слабое, сильное и электромагнитное взаимодействие полей материи. (...) Гравитация возникает как явление, находящееся совершенно вне рамок теоретических идей, на которых основана теория элементарных частиц» [108, с. 182].

7. Не получила подтверждения гипотеза Эйнштейна о возможности геометрического обоснования квантовой теории. Об этом В. Гейзенберг писал: «Однако он (А. Эйнштейн, — Ю. В.) переоценил возможности геометрической точки зрения. Гранулярная структура материи является следствием квантовой теории, а не геометрии; квантовая же теория касается очень фундаментального свойства нашего описания Природы, которое не содержалось в эйнштейновской геометризации силовых полей» [34, с. 87].

8. Опыт исследований проблемы «квантования гравитации» свидетельствует, что наиболее плодотворным следует считать не путь противопоставления геометрического и физического миропониманий, не решение вопроса, какой из них является более фундаментальным, а их по-

нимание *как видений мира под двумя разными углами зрения и главная задача состоит в попытках рассмотреть за ними нечто более фундаментальное.*

Безуспешные многолетние исследования проблемы «квантования гравитации» с позиций физического и геометрического миропониманий свидетельствуют в пользу выбора некоего третьего пути решения данной проблемы.

Часть III

Реляционное и монистическое миропонимания

Реляционное миропонимание опирается на концепцию дальнодействия и представляет собой третий взгляд на мир — со стороны оставшейся парной комбинации метафизических категорий: пространства-времени и частиц. Концепция дальнодействия имеет глубокие корни в истории физики и натурфилософии, однако в XX веке она оказалась в стороне от магистральных направлений теоретической физики. Некоторые даже полагали, что успехи теории поля (концепции близкодействия) доказали несостоятельность концепции дальнодействия, но это не соответствует истине. Исследования в рамках концепции дальнодействия продолжались как в XIX, так и в XX веках, причем на этом пути были получены чрезвычайно интересные результаты принципиального характера.

В реляционном миропонимании, как и в двух предыдущих, следует различать две дуалистические парадигмы. Одна из них, главная, состоит в переходе к обобщенной категории, включающей в себя характерные для данного видения категории пространства-времени и частиц; другая — основана на двух обобщенных категориях, включающих в себя третью, оставшуюся, — полей переносчиков взаимодействий. Подобные дуалистические парадигмы были и в других миропониманиях, например, в рамках геометрического подхода такую парадигму представляли варианты единой нелинейной бозонной теории поля.

В реляционном миропонимании оказалась обратная ситуация — долгое время известной и достаточно развитой была именно дуалистическая парадигма второго типа, представленная теориями прямого межчастичного взаимодействия Фоккера—Фейнмана. По этой причине данная часть книги начинается с рассмотрения именно теорий Фоккера—Фейнмана (см. главу 10).

До 60-х годов XX века не было известно обобщенной категории, объединяющей категории пространства-времени и частиц, и отсутствовал содержательный математический аппарат, позволяющий развивать теории нового типа. Последнее было сделано на основе предложенной Ю. И. Кулаковым теории физических структур, до сих пор мало известной физикам. Рассмотрению основанной на этой теории дуалистической парадигмы первого типа, соответствующей выходу на левую грань куба физического мироздания, посвящена глава 11.

Анализируя достижения теорий всех трех видений мира, а главное, опираясь на недостававшее до сих пор звено из обобщенной категории реляционного видения мира (точнее, на его бинарный прообраз), удается заложить основы новой теории, представляющей искомую монистическую парадигму. Эта теория, названная бинарной геометрофизикой, строится на основе комплексифицированных бинарных физических структур, обобщающих понятие классических систем отсчета. Применение данного математического аппарата к физике микромира позволило под другим углом зрения взглянуть на суть фундаментальных физических взаимодействий и на их связь друг с другом. Бинарная геометрофизика, о которой речь пойдет ниже (см. главу 12), фактически представляет собой новый вид геометрии — бинарной, которую можно понимать также как предгеометрию, о перспективности которой говорил Дж. Уилер.

Третье миропонимание в совокупности с двумя другими позволяет осознать более глубокие основания физического мироздания и открывает широкие перспективы для развития физики. В последней главе 13 этой части, отталкиваясь от бинарной геометрофизики, рассмотрен обратный процесс — переход к геометрическому и физическому миропониманиям.

Глава 10

Концепция дальнодействия

Прежде всего, следует отметить, что в термин *дальнодействие* иногда вкладывают совершенно различный смысл. Во-первых, он может означать взаимодействие между двумя объектами, передающееся на расстоянии без посредников. В этом смысле термин *дальнодействие* противоположен понятию *близкодействие*, когда взаимодействие передается с помощью некой среды или посредника. Во-вторых, этот термин можно понимать как передачу воздействия одного объекта на другой с бесконечной скоростью безотносительно к тому, есть посредник или его нет. В-третьих, данный термин иногда связывают с тем, как быстро убывают с расстоянием соответствующие силы или потенциалы. Например, гравитационное и электромагнитное взаимодействия в этой трактовке относят к дальнодействующим, тогда как слабое или сильное (ядерное) — к близкодействующим. Сразу же подчеркнем, что здесь в термин вкладывается именно первый смысл — *передача воздействий без посредника*.

В XX веке концепция дальнодействия в наиболее развитом виде была представлена теорией прямого межчастичного взаимодействия (action-at-a-distance) Фоккера—Фейнмана. В соответствии с приведенным пониманием дальнодействия в этой теории категория полей (переносчиков взаимодействий) исключается из числа исходных понятий, — поля вводятся на некотором этапе развития теории, но лишь как вторичные вспомогательные понятия, строящиеся из характеристик частиц. Можно сказать, что в теории прямого межчастичного взаимодействия категории пространства-времени и частиц, характерные для данного видения мира, берут на себя функции оставшейся категории полей переносчиков взаимодействий. Наглядно суть данной парадигмы можно пояснить с помощью рисунка 10.1, где заштрихованы две грани куба, пересекающиеся вдоль оси, соответствующей категории полей переносчиков взаимодействий.

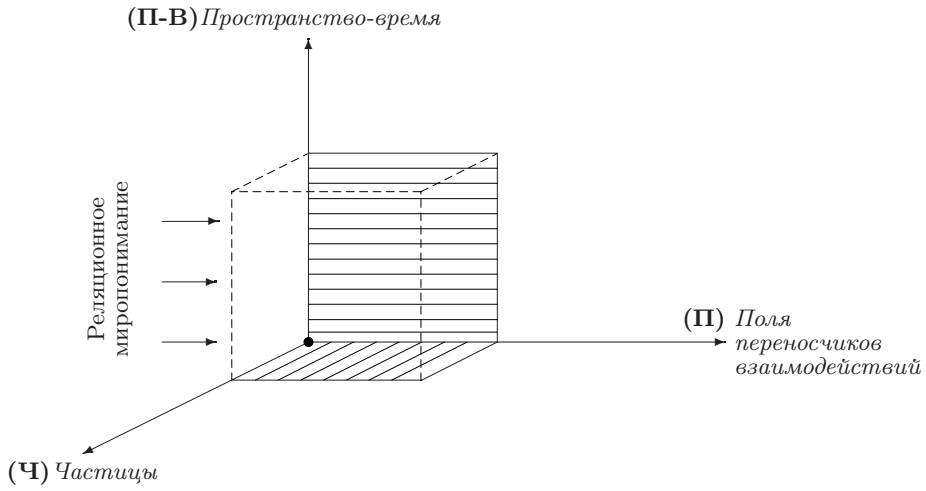

Рис. 10.1. Теория прямого межчастичного взаимодействия Фоккера—Фейнмана, опирающаяся на две обобщенные категории

В XX веке теория прямого межчастичного взаимодействия составляла боковую ветвь теоретической физики. Она не входила в вузовские программы, поэтому идеи и результаты этой теории нуждаются в разъяснении.

10.1. Зарождение и причины угасания концепции дальнодействия

Обычно концепция дальнодействия в естествознании связывается с именем **Ньютона**, однако нужно признать, что сам Ньютон не был последовательным ее сторонником. Так, в письме к Бентли он писал: «Нельзя представить себе, каким образом неодушевленное грубое вещество могло бы без посредства чего-либо постороннего, которое нематериально, действовать на другое вещество иначе, как при взаимном прикосновении. А так должно было быть, если бы тяготение было, в смысле Эпикура, присуще материи. Вот почему я желал бы, чтобы Вы не приписывали мне учения о тяжести, прирожденной материи. Допустить, что тяготение врожденно материи, присуще ей, так что одно тело должно действовать на расстоянии через пустоту на другое без посредства чего-либо постороннего, помощью которого действие и сила от одного тела проводится к другому, есть для меня такая нелепость, что, полагаю, в нее не впадает ни один человек, способный к мышлению о философских вещах. Тяго-

тение должно вызываться некоторым фактором, действующим согласно определенным законам» (цит. по [63, с. 155]).

Сторонники концепции близкодействия часто приводят эту цитату для подтверждения того, что Ньютон отвергал концепцию дальнодействия. Однако при этом опускается продолжение этой цитаты: «Какой это фактор, материальный и нематериальный, — я представляю размышлению моих читателей». В своих работах Ньютон то вводил эфир, то исключал его. Видимо, он чувствовал всю глубину этой проблемы, много о ней размышлял, но не смог сделать окончательного выбора[1].

Так, начиная с работ Ньютона, в физике возникла дилемма: какая концепция должна лежать в основе физической картины мира — дальнодействие или близкодействие? В дальнейшем предпочтение отдавалось то одной из них, то другой. Так, в начале и в середине XIX века доминировала концепция дальнодействия. Главными сторонниками этой концепции выступали ведущие представители немецкой физической школы: В. Вебер, Л. Лоренц, Франц Нейман, Карл Нейман, Г. Т. Фехнер, К. Ф. Целльнер и некоторые другие (см. [14]). К ним примыкали такие известные математики, как Б. Риман и К. Гаусс. Напомним, их имена связаны с открытием неевклидовых геометрий, приведших к созданию общей теории относительности.

Известно, что в 1845 году В. Вебер отправил на отзыв Гауссу свою работу «О всеобщем законе электрического действия», в которой излагались его взгляды в русле концепции запаздывающего дальнодействия, т. е. передающегося от одного заряда к другому с конечной скоростью. В ответном письме К. Гаусс с одобрением отозвался о его работе и упомянул о своих размышлениях над этой проблемой, добавив: «Я бы, без сомнения, давно опубликовал результаты моих исследований, если бы в то время не забросил их, поскольку мне не удалось найти то, что я считал краеугольным камнем: Nil actum reputans si quid superesset agendum [Пока не все сделано, считай, что ничего не сделано (лат.)], а именно вывод добавочных сил, дополняющих взаимодействие покоя-

[1] Судя по другим его высказываниям, письмам и свидетельствам его современников, Ньютон склонялся к мистико-религиозному решению этого вопроса. Так, в записках его современника Грегори говорится: «У него были сомнения, может ли он выразить последний вопрос так: чем наполнено пространство, свободное от тел? Полная истина в том, что он верит в вездесущее Божество в буквальном смысле. Так, как мы чувствуем предметы, когда изображения их доходят до мозга, так и Бог должен чувствовать всякую вещь, всегда присутствуя при ней. Он полагает, что Бог присутствует в пространстве как в свободном от тел, так и там, где тела присутствуют» [63, с. 152]. В «Оптике» Ньютон называет пространство «чувствилищем (Sensorium) Бога».

щихся электрических зарядов, когда они оба находятся в движении, — из действия, которое распространяется не мгновенно, но с течением времени, как в случае света» [84, с. 506]. Известно, что добавочные силы (силы Лоренца) затем были обоснованы в рамках максвелловской теории электромагнитного поля, которая надолго затмила концепцию дальнодействия.

Представителями немецкой физической школы было высказано много соображений, значительно опередивших свое время и предвосхитивших многое из того, что было получено либо значительно позже, либо проявилось в рамках реляционного видения мира, развиваемого в этой части книги. Опираясь на исследования по истории физики [14], перечислим некоторые из них.

1. В работах В. Вебера, К. Ф. Целльнера и других дальнодействие понималось как передающееся с некой конечной скоростью, т. е. было оторвано от традиционного в начале XIX века представления о бесконечной скорости распространения дальнодействующего взаимодействия.

2. В работах К. Неймана и других отвергалось распространение электрического взаимодействия вне зависимости от существования «излучателя» и «приемника». Предполагалось обязательное наличие как источника, так и поглотителя, т. е. принципиально отвергалось излучение источником в пустоту (в никуда).

3. В ряде работ В. Вебера делался вывод, что «непосредственное взаимодействие двух электрических масс зависит не только от этих масс, но также от присутствия третьего тела» (см. [14, с. 225]), и проводилась аналогия с введенным Берцелиусом понятием «каталитической силы». Тем самым делался еще один шаг от традиционного дальнодействия, где полагалось, что сила зависит только от расстояния между *двумя* телами.

Благодаря этому чрезвычайно важному предвидению устанавливались связи с философскими направлениями, утверждавшими, что поведение отдельных элементов системы не может быть описано без учета свойств системы в целом. Близкие идеи можно найти в философии Г.Лотце, во взглядах виталистов и других. В дальнейшем в физике эти идеи было принято связывать с принципом Маха.

4. Особо следует выделить работы К. Ф. Целльнера, в которых была выдвинута важная гипотеза: «многие явления, для которых физика еще не нашла адекватного объяснения, на самом деле происходят в четырехмерном мире. При этом наши органы чувств фиксируют своего рода проекцию «четырехмерных процессов на трехмерный мир»» [14, с. 244]. Примечательно, что к 4-мерным процессам Целльнер относил не только гравитационное, но и электрическое взаимодействие.

Конечно, четвертое измерение подразумевалось пространственным, а не временно-подобным, как в специальной теории относительности. Фактически здесь предвосхищались идеи 5-мерных теорий Калуцы и Клейна.

5. Целльнер пошел дальше теории взаимодействий. В орбиту его размышлений попали и вопросы о сущности самого пространства. Целльнер отвергал ньютоново абсолютное пространство и связывал понятие пространства с взаимодействиями объектов: «пространство трех измерений определяется законом, по которому взаимодействие тел может меняться без изменения самих тел» [14].

6. Высказывались и другие идеи, в частности, уже в 70-е годы прошлого столетия Целльнер проявлял интерес к работам Н. И. Лобачевского, Я. Бояи, Б. Римана по неевклидовым геометриям.

Во второй половине XIX века в рамках концепции дальнодействия накопилось слишком много проблем, на которые физика того времени еще не могла дать ответ. Назовем главные из них.

1) Концепция дальнодействия опиралась на атомарную структуру материи, которая в тот период не представлялась очевидной.
2) В рамках концепции дальнодействия естественными были представления об элементарных носителях электрического заряда. Электроны и другие элементарные частицы еще не были открыты.
3) Говоря о запаздывающем дальнодействиии, его сторонники еще не могли опереться на универсальную роль скорости света, которая была осознана лишь после открытия специальной теории относительности.
4) Были некоторые различия между формулами, описывающими электромагнитные взаимодействия частиц в рамках двух концепций. В теории поля они оказались более совершенными.
5) Решение дифференциальных уравнений в рамках теории поля давало ряд технических преимуществ по сравнению с более громоздкими рассуждениями в рамках концепции дальнодействия.

Были и другие факторы, как объективного, так и субъективного (психологического) характера. С концепцией дальнодействия произошла примерно та же история, что и с идеей о многомерии физического мира (с 5-мерной теорией Калуцы). Идеи и выводы немецкой физической школы середины XIX века намного опередили свое время. Во второй половине XIX века после работ М.Фарадея и Д. К. Максвелла, увенчавшихся открытием уравнений электромагнитного поля, стало казаться, что в рамках теории поля удается избежать трудности прямого межчастичного взаимодействия. Концепция близкодействия тогда представля-

лась обладающей рядом неоспоримых преимуществ. В последней четверти XIX века немецкая физическая школа, опирающаяся на концепцию дальнодействия, уступила первенство английской физической школе; и более, чем на столетие теория поля стала доминирующей.

В итоге многие идеи и результаты немецкой физической школы середины прошлого века оказались забытыми. В учебниках по физике первой половины XX века нередко утверждалось, что развитие физики продемонстрировало ошибочность концепции дальнодействия. Так, О. Д. Хвольсон в 1923 году писал: «*Современная наука* противится мысли о дальнодействии; *считает невозможным, чтобы какое-либо тело действовало там, где оно не находится*, и заменила дальнодействие близкодействием, при котором всякое действие может быть произведено только в ближайшем соседстве с источником этого действия» [132, с. 160].

10.2. Альтернатива: близкодействие или дальнодействие

Однако идеи концепции дальнодействия не были окончательно утеряны и получили свое развитие в работах Э. Маха, воспитанного в среде немецкой физической школы середины XIX века. Физика многим ему обязана и, главным образом, его глубокому критическому анализу оснований ньютоновой механики, представлений об абсолютных пространстве и времени. Так, рассматривая в своей книге «Познание и заблуждение» соотношение концепций дальнодействия и близкодействия, он писал: «Мысль Ньютона о силах, действующих на расстоянии, была великим умственным событием, которое позволило в течение одного столетия построить однородную математическую физику. В этой мысли выразилась некоторая духовная дальнозоркость. Он видел факт ускорений на расстоянии и признал его важное значение; посредники, передающие эти ускорения, казались ему неясными, и он до времени оставлял их без внимания» [79, с. 441].

Соотношение двух концепций обсуждал также А. Пуанкаре в «Последних мыслях»: «Нам представляется, что мы лучше понимаем передачу действия путем соприкосновения, нежели действие на расстоянии. Это последнее содержит в себе нечто таинственное, естественно наводящее на мысль о некотором вмешательстве в наш мир извне и именно поэтому я говорю сейчас, что механицизм пронизан материализмом. Призвание ученых состоит в том, чтобы устранять все таинственное и

тем самым всегда продвигаться хотя бы немного вперед. (...) И когда где-нибудь обнаруживают действие на расстоянии, стремятся представить себе и промежуточную среду, которая обладает свойством передавать это действие от точки к ближайшей точке. Однако на этом пути продвинулись не слишком-то далеко, ибо если эта среда непрерывна, то это не дает никакого удовлетворения нашей привязанности к простоте, т. е. нашей потребности все понимать. Если же она состоит из атомов, то атомы не могут находиться в постоянном соприкосновении, хотя они и расположены на очень малых расстояниях друг от друга, равных, по всей видимости, одной миллиардной миллиметра. Но это все-таки конечное расстояние и его значение такого же характера, как и километра, — для философа это в принципе одно и то же. Ведь необходимо, чтобы действие передавалось от одного атома к другому — только так оно становится действием на расстоянии» [95, с. 490].

Идеи дальнодействия были возрождены в 20-х годах XX века в работах К. Шварцшильда, Г. Тетроде и А. Д. Фоккера, благодаря которым концепция прямого межчастичного взаимодействия получила четкую математическую формулировку. Было показано, что теория электромагнетизма, построенная на ее основе, согласуется с теорией Максвелла для статических и стационарных электромагнитных явлений. Тогда же были выявлены и основные трудности, препятствовавшие развитию этой теории. Главная из них состояла в равноправности запаздывающих и опережающих взаимодействий.

В нашей стране концепция дальнодействия активно отстаивалась Я. И. Френкелем [129, 130], о чем свидетельствуют сохранившиеся стенограммы диспутов, проводившихся в конце 20-х — начале 30-х годов: «Я думаю, однако, что мы должны считать фундаментальной реальностью не поле, но материю, т. е. движение и взаимодействие материальных частиц, а электромагнитное поле рассматривать как вспомогательную конструкцию, служащую для более удобного описания этого взаимодействия. Наконец, я полагаю, что оно представляет собой дальнодействие, которое мы никоим образом не должны сводить к какому-то действию и близкодействию, осуществляющемуся через какую-либо промежуточную материальную среду или при помощи материализованных силовых линий. (...) Позвольте прежде всего доказать вам, что физическим абсурдом является именно представление о близкодействии, а физической реальностью, физически обоснованным является представление о дальнодействии. Как нам ни трудно представить себе это дальнодействие, да еще запаздывающее, все же нам необходимо сделать соответствующее усилие для того, чтобы освободиться от тех привычек, которые сложи-

лись у нас в эпоху, когда наши познания были недостаточны» [129, с. 25]. «Разрешите мне сейчас проанализировать понятие близкодействия так, как оно фигурирует в теории Фарадея, так, как его представлял себе Максвелл, и показать вам, что это близкодействие, действующее через промежуточную среду, представляет собой только иллюзию, только замаскированное дальнодействие. Не дальнодействие оказывается необходимым сводить к близкодействию, а, наоборот, близкодействие к дальнодействию» [129, с. 73].

В защиту своей позиции Френкель приводил три основных довода. Первый (он называл его «антропоморфным») довод состоит в том, что у нас укоренились представления о воздействии на предметы через непосредственное соприкосновение. Второй довод кроется в привычке оперировать дифференциальными уравнениями, обычно ассоциируемыми со сплошной средой. Третий довод близок к содержавшемуся в уже упомянутом высказывании А. Пуанкаре. Френкель говорил: «Если частицы, из которых состоит рассматриваемое тело, отделены друг от друга пустыми промежутками, то каким образом они действуют друг на друга? Вы можете сказать, что когда одно тело толкает другое, то одни частицы нажимают на соседние и таким образом осуществляется непосредственное соприкосновение. Ну а если вы тело растягиваете, как тогда действуют соседние частицы его друг на друга?» [129, с. 76] Он утверждал, что введение новой межмолекулярной среды «нисколько не решает вопроса о сведении дальнодействия к близкодействию, а лишь сводит дальнодействие на очень малых расстояниях к дальнодействию на еще меньших расстояниях».

Добавим к этому четвертый довод. Концепция близкодействия опирается, по-существу, на нерелятивистское понятие контакта, означающее, что взаимодействие осуществляется, когда расстояние между частицами i и j равно нулю ($r_{ij} = 0$). Частица взаимодействует с полем, находящимся в этой же точке, затем поле последовательно передает воздействие от одной точки пространства к другой, бесконечно близкой, по цепочке пока не достигнет положения второй частицы. В релятивистской теории, как известно, время и пространство объединяются в одно 4-мерное многообразие. Релятивистски неинвариантное понятие расстояния r_{ij} следует заменить на релятивистски инвариантное понятие интервала $s_{ij} = \sqrt{c^2 t_{ij}^2 - r_{ij}^2}$. Тогда релятивистское понятие контакта означает $s_{ij} = 0$, что соответствует взаимодействию (контакту) частиц на изотропных конусах с вершинами в местах расположения частиц. В этом смысле *можно считать теорию запаздывающего дальнодействия*

более соответствующей релятивистской идеологии (теории относительности), нежели общепринятую теорию поля.

Укоренились представления о переносе света фотонами, распространяющимися от источника через все промежуточные точки до приемника (до нашего глаза). А как же иначе? Утверждается, что об этом якобы свидетельствует огромное количество экспериментов. Однако стоит задуматься, действительно ли эти эксперименты свидетельствуют о том, что каждый из фотонов непосредственно проходит через *все промежуточные точки пространства* от источника до глаза? Возьмем конкретный фотон и попытаемся его обнаружить где-то между источником и глазом. Как только мы его зафиксируем, он уже в наш глаз не попадет. Попасть могут только другие фотоны, о каждом из которых можно сказать то же самое. Таким образом, эксперименты не доказывают прохождения каждого отдельно взятого фотона через все промежуточные точки пространства от источника до глаза.

10.3. Принцип Фоккера в электродинамике

Изложим суть теории прямого межчастичного электромагнитного взаимодействия Фоккера—Фейнмана. В ней постулируется классическое 4-мерное пространство-время и в него вкладываются заряженные частицы. Из блок-схемы (3.1.1), поясняющей концепцию близкодействия, убирается промежуточное звено в виде поля. Тогда классическое действие S_{12} для двух взаимодействующих частиц вместо (3.1.2) и (3.1.3) представляется в виде

$$S_{12} = S_0(1) + S_{int}(1,2) + S_0(2) \equiv S_0 + S_{int}(1,2), \tag{10.3.1}$$

где $S_0(1)$, $S_0(2)$ и S_0 по-прежнему действия для свободных частиц, а S_{int} описывает взаимодействия двух частиц непосредственно через их характеристики.

Вид S_{int} постулируется посредством *принципа действия Фоккера*, который для случая электромагнитного взаимодействия означает

$$\begin{aligned} S^{(e)}_{int}(1,2) &= -e_1 e_2 \int\int \delta(s^2(1,2))\eta_{\mu\nu} dx_1^\mu dx_2^\nu = \\ &= -\int\int j^\mu_{(1)} j_{(2)\mu} \delta(s^2(1,2)) ds_1 ds_2, \end{aligned} \tag{10.3.2}$$

где e_1 и e_2 — электрические заряды двух частиц, $j^\mu_{(1)} = e_1 dx_1^\mu / ds_1$ — вектор 4-тока частицы с номером 1; dx_1^μ, dx_2^ν - изменения координат; ds_1, ds_2 — смещения вдоль мировых линий частиц; $\eta_{\mu\nu}$ — метрический тензор

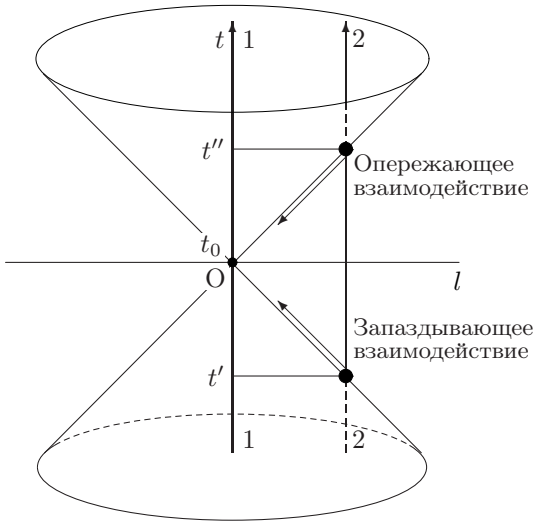

Рис. 10.2. Опережающее и запаздывающее взаимодействия двух частиц

пространства-времени Минковского; $s^2(1,2)$ — квадрат интервала между точками на мировых линиях двух частиц;

$$\delta(s^2(1,2)) = \delta(c^2t_{12}^2 - r_{12}^2) = \frac{1}{2|r_{12}|}\left[\delta(ct_{12} - r_{12}) + \delta(ct_{12} + r_{12})\right] \quad (10.3.3)$$

— δ-функция. Здесь t_{12} и r_{12} — промежуток времени и расстояние между положениями взаимодействующих частиц.

Из (10.3.2) видно, что для описания взаимодействия необходимо использовать классическое пространство и время. Именно на этом основании можно утверждать, что, согласно принципу Фоккера, категории пространства-времени и частиц берут на себя функции категории полей переносчиков взаимодействий.

Особо следует остановиться на представлении δ-функции в виде двух частей справа в (10.3.2). Они означают, что при фиксированном положении частицы с номером 1 в некоторый момент времени t_0 (на ее мировой линии) взаимодействие между частицами происходит при двух положениях второй частицы: в предшествующий момент t' и в будущий момент t'', соответствующих двум пересечениям конусов прошлого и будущего (с вершиной на мировой линии первой частицы в момент t_0) с мировой линией второй частицы (см. рис.10.2). С точки зрения первой частицы, взаимодействие, определяемое положением второй частицы в момент t', называется *запаздывающим*, а положением в момент t'' — *опережа-*

ющим. Таким образом, согласно принципу Фоккера, запаздывающее и опережающее взаимодействия присутствуют симметричным образом. В 20-х — 30-х годах это представляло основную трудность теории прямого межчастичного взаимодействия. Можно было говорить о совпадении этой теории с общепринятой теорией поля лишь для статических и стационарных электромагнитных явлений.

Полное действие для системы взаимодействующих электрических зарядов в классической теории прямого межчастичного электромагнитного взаимодействия записывается в виде (10.3.1), где в S_0 входят свободные действия всех частиц, а в S_{int} — все возможные парные взаимодействия.

Поясним, как в теории прямого межчастичного взаимодействия можно ввести вторичные (вспомогательные) понятия, соответствующие потенциалам и напряженностям электромагнитного поля. Для этого из (10.3.1), записанного для системы из всех заряженных частиц, следует выделить одну частицу, например, с номером $i = 1$ и записать для нее действие в более привычной форме

$$S_1^{(e)} = -m_1 c \int ds_1 - \frac{1}{c} \sum_{k \neq 1} \int j^{\mu}_{(1)} A_{\mu}(1,k) ds_1, \tag{10.3.4}$$

где введено обозначение для отдельного вклада

$$A_{\mu}(1,k) = \int j_{(k)\mu} \delta(s^2(1,k)) ds_k, \tag{10.3.5}$$

который интерпретируется как векторный электромагнитный потенциал, создаваемый зарядом e_k в том месте, где находится заряд e_1. Очевидно, в определение электромагнитного потенциала входят пространственно-временные положения частиц (в виде дельта-функции) и характеристики частиц (их скорости и заряды).

Объединяя вклады всех заряженных частиц, получаем суммарный электромагнитный потенциал $A_{\mu}(1) = \sum_{k \neq 1} A_{\mu}(1,k)$ в месте нахождения заряда с номером 1 и действие для выделенной частицы:

$$S_1^{(e)} = -m_1 c \int ds_1 - \frac{1}{c} \int j^{\mu}_{(1)} A_{\mu}(1) ds_1, \tag{10.3.6}$$

формально совпадающее с общепринятым выражением в электродинамике Максвелла—Лоренца. Однако следует подчеркнуть, что *в теории прямого межчастичного взаимодействия бессмысленно говорить о потенциале в точках пространства-времени, где отсутствуют электрические заряды*.

Из действия (10.3.6) с помощью принципа наименьшего действия легко получить уравнение движения выделенной заряженной частицы, которое имеет знакомый вид

$$m_1\eta_{\mu\nu}\frac{d^2x_1^\nu}{ds_1^2}=\frac{e_1}{c^2}F_{\mu\nu}(1)\frac{dx_1^\nu}{ds_1}, \tag{10.3.7}$$

где введен тензор электромагнитного взаимодействия в точке нахождения заряда с номером 1. Можно показать, что он *тождественно удовлетворяет соотношениям, аналогичным уравнениям Максвелла.* Легко убедиться, что определенный, согласно (10.3.5), векторный потенциал автоматически удовлетворяет условию калибровки Лоренца

$$\frac{\partial A^\alpha(i,k)}{\partial x_i^\alpha}=0. \tag{10.3.8}$$

Таким образом, приходим к выводу, что в теории прямого электромагнитного взаимодействия типа Фоккера—Фейнмана

1) *нет потенциалов поля в точках пространства-времени, где отсутствуют частицы, а, следовательно, и нет полевых уравнений Максвелла*;
2) *потенциалы электромагнитного взаимодействия можно ввести в местах расположения заряженных частиц и для них выполняются тождества, соответствующие уравнениям Максвелла.*

Отметим, если допустить существование векторных потенциалов во всех точках непрерывного пространства-времени, то *в математическом плане* две теории — поля и прямого межчастичного взаимодействия — окажутся эквивалентными. Они отличаются исходными положениями. В теории поля исходят из дифференциальных уравнений, из которых можно найти функцию Грина и записать решение в интегральном виде. В теории прямого межчастичного взаимодействия исходным является задание функции Грина, которая определяется через дельта-функцию в (10.3.2). Зная ее, можно восстановить соответствующее ей дифференциальное уравнение. Однако *для физики* допущение о распространении значений потенциалов на все точки пространства-времени имеет существенное значение.

10.4. Фейнмановская теория поглотителя

В теории прямого межчастичного взаимодействия фоккеровского типа, по определению, взаимодействие между любыми двумя электрическими

зарядами (или массами) является наполовину запаздывающим и наполовину опережающим, причем исключить ненаблюдаемые на опыте опережающие взаимодействия волевым образом, как это фактически делается в теории поля, не представлялось возможным. В итоге получилось так, что фоккеровская теория была эквивалентна теории поля Максвелла—Лоренца лишь при описании статических и стационарных электромагнитных явлений.

И только в 1945 году Р. Фейнман и Дж. Уилер показали, что эту трудность в теории электромагнитного взаимодействия можно преодолеть, если сделать следующий шаг к целостному восприятию мира, т. е. если учесть вклады во взаимодействия между любыми двумя зарядами со стороны всех других зарядов Вселенной — своеобразный «отклик Вселенной» на процесс «излучения» (на акт взаимодействия). Методика корректного учета отклика Вселенной составила важную часть всей теории прямого межчастичного взаимодействия, названной Фейнманом и Уилером *теорией поглотителя*. Она основана на трех постулатах[1]:

1) ускоренный заряд в пустом пространстве «не излучает»;
2) силы, действующие на любую частицу, слагаются из вкладов взаимодействий со всеми другими частицами Вселенной;
3) эти взаимодействия являются наполовину опережающими и наполовину запаздывающими, эквивалентными соответствующим половинам решений Лиенара—Вихерта уравнений Максвелла.

В упомянутой работе 1945 года было показано, что если во Вселенной имеется достаточно большое число заряженных частиц, то суммарное воздействие их на частицу-приемник излучения полностью компенсирует опережающее взаимодействие от источника. Кроме того, опережающая часть того же суммарного воздействия, суммируясь с запаздывающим воздействием источника на приемник, приводит к наблюдаемому на опыте запаздывающему взаимодействию.

Поясним это с помощью рисунка 10.3. Пусть на мировой линии заряженной частицы (назовем ее просто зарядом) i в некоторый момент времени $t = 0$ произошло событие (акт взаимодействия, т. е. «излучение» сигнала). Выберем начало координат в точке, где произошло событие. Окружающий эту частицу мир смоделируем достаточно толстым шаровым слоем зарядов с внутренним радиусом R. На рисунке 10.3 внутренняя поверхность этого слоя в сечении обозначена мировыми линиями частиц k и s.

[1] Формально они относятся и к гравитационному, и к иному взаимодействию.

Рассмотрим влияние происшедшего в точке O в момент $t = 0$ события на второй пробный заряд j, расположенный на расстоянии l_{ij} от мировой линии заряда i. В момент времени R/c из точек C и D (а еще позже и от всех других зарядов поглотителя на конусе будущего) назад во времени начнут распространяться в точку O опережающие сигналы, чтобы сойтись в O в момент $t = 0$. К пробному заряду j в момент $t = -l_{ij}/c$ (т. е. в точку B^-) придут опережающие сигналы из точки D^+ слоя (и от всех других точек в слое на конусе) и из точки O. Вычисления с суммированием по всем частицам слоя показывают, что в точке B^- строго выполняется соотношение

$$F^{adv}_{B^-}(j, \sum k) + F^{adv}_{B^-}(j, i) = 0, \tag{10.4.1}$$

где $F^{adv}_{B^-}(j, i)$ — опережающее воздействие (соответствующее напряженности электромагнитного поля) на заряд j со стороны излучателя-заряда i; $F^{adv}_{B^-}(j, \sum k)$ — опережающее воздействие на заряд j со стороны всех зарядов $(\sum k)$ из поглотителя — окружающего слоя.

Аналогично, в точку B^+ на мировой линии пробного заряда j в момент времени $t = l_{ij}/c$ придут опережающие сигналы $F^{adv}_{B^+}(j, \sum s)$ от зарядов s в шаровом слое поглотителя и запаздывающий сигнал $F^{ret}_{B^+}(j, i)$ от заряда i. Вычисления показывают, что эти вклады имеют одинаковый знак и равны по величине

$$F^{adv}_{B^+}(j, \sum s) + F^{ret}_{B^+}(j, i) = 2F^{ret}_{B^+}(j, i), \tag{10.4.2}$$

т. е. происходит удвоение исходного запаздывающего парного взаимодействия.

На этот результат можно взглянуть иначе. На источник i падает совокупность практически плоских опережающих «волн» (в терминах теории поля) от всех зарядов поглотителя (опережающее воздействие). В момент ускорения частицы-источника сходящаяся «волна» коллапсирует, и в следующий момент времени она расходится от источника вместе с его собственным излучением (их амплитуды одинаковы). Произвольный заряд-приемник j не может различить эти две «волны» (воздействия) разного происхождения и реагирует на них как на единое целое, т. е. как на удвоенное запаздывающее воздействие.

При получении данных результатов был сделан ряд упрощающих допущений, как то: предположение о малой плотности зарядов в поглотителе, допущение о равномерности их распределения; считалось, что эти заряды свободные и т. д. Возникает естественный вопрос: а не изменятся ли результаты в более общих случаях? Фейнман подробно проанализировал этот вопрос и показал, что полученные результаты не зависят от

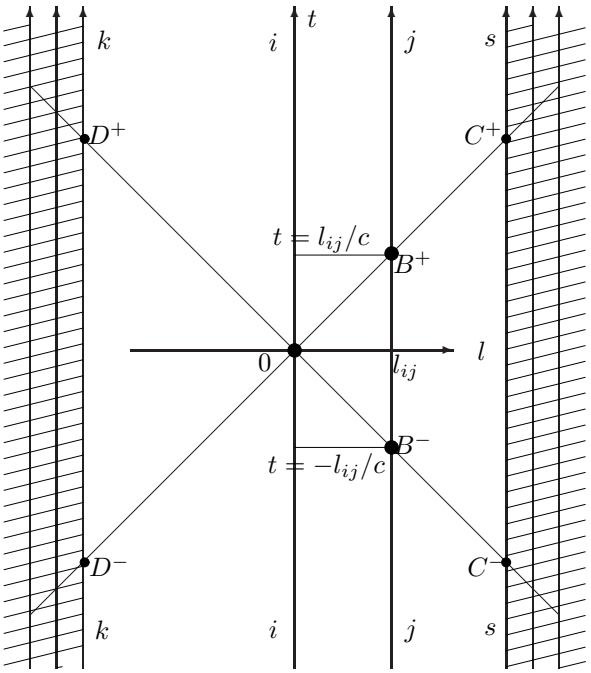

Рис. 10.3. Влияние фейнмановского поглотителя на взаимодействие двух зарядов

подобных обобщений, — существенно лишь предположение о достаточно большом количестве зарядов в поглотителе, т. е. «абсолютность» поглотителя.

Другой принципиально важный результат, следующий из учета поглотителя, состоит в том, что сам «излучающий» источник i получает дополнительное воздействие в виде силы

$$f = \frac{2e_i^2}{3c^3}\frac{da_i}{dt}. \tag{10.4.3}$$

В итоге уравнение движения «излучающей» частицы i имеет вид

$$m\frac{d\vec{v}}{dt} = e\vec{E} + \frac{e}{c}[\vec{v}\vec{H}] + \frac{2e^2}{3c^3}\frac{d^2\vec{v}}{dt^2}, \tag{10.4.4}$$

где $\vec{E}$ и $\vec{H}$ — внешние напряженности электрического и магнитного воздействий. Таким образом, *в теории прямого межчастичного электромагнитного взаимодействия автоматически возникает сила радиационного трения, которая оказывается обусловленной воздействием на «излучающую» частицу со стороны всех частиц окружающей Вселенной.*

Следует вспомнить, сколько усилий было затрачено на объяснение силы радиационного трения в рамках традиционной теории поля (в физическом видении мира), причем там до сих пор не устранены все трудности.

Заметим, приведенные рассуждения не однозначны. Неявно был использован существенный постулат, что любое воздействие (излучение) от источника будет поглощено окружающей материей Вселенной, а воздействие на заряд j со стороны источников из прошлого практически равно нулю. Всю изложенную схему рассуждений можно перевернуть. Для этого достаточно постулировать, что в будущем отсутствуют возможные поглотители, тогда как в прошлом имеется достаточно много источников (постулат «абсолютного излучателя»). В этом случае суммарное запаздывающее воздействие от i на j (с учетом отклика Вселенной) обращается в нуль, а опережающее воздействие удваивается. Следовательно, для выбора одной из указанных схем рассуждений необходимы дополнительные соображения. Фактически здесь встает *проблема обоснования направления «стрелы времени»* (по образному выражению А. Эддингтона), т. е. направленности всей эволюции физического мира в будущее. В работах Фейнмана и Уилера были использованы термодинамические соображения, однако рядом авторов для этой цели стали привлекаться свойства космологических моделей.

10.5. Принцип Маха и концепция дальнодействия

Фейнмановская теория поглотителя, т. е. учет взаимодействия с частицами всей окружающей Вселенной, соответствует принципу Маха и взглядам немецкой физической школы середины XIX века, согласно которым физический мир представляет собой неразрывное целое, так что свойства его отдельных частей, обычно понимаемые как локальные (присущие отдельно взятым системам), на самом деле обусловлены распределением всей материи мира, или глобальными свойствами Вселенной. Мах писал: «Дело именно в том, что природа не начинает с элементов, как мы вынуждены начинать. Для нас во всяком случае счастье то, что мы в состоянии временами отвлечь наш взор от огромного целого и сосредоточиться на отдельных частях его. Но мы не должны упускать из виду, что необходимо впоследствии дополнить и исправить дальнейшими исследованиями то, что мы временно оставили без внимания.» [80, с. 199].

Уже в середине XX века Ф. Хойл и Дж. В. Нарликар в духе принципа Маха писали: «Во многих проблемах возможно «отделить» эффект

Вселенной в том смысле, что влияние Вселенной остается эффективно постоянным внутри рассматриваемого пространственно-временного объема, к которому относятся эти проблемы. (...) Если читатель допустит на мгновение, что такая точка зрения верна, то ему станет ясно, что, вероятно, более легки именно те проблемы, в которых Вселенная проявляется в виде постоянного влияния окружающей среды, нежели те, в которых это влияние переменно. Самыми эффективными преимуществами обладают такие проблемы, где постоянное влияние Вселенной может быть заменено эмпирически найденными значениями, как, например, значения масс. Обычно практика благоразумного физика концентрируется на тех проблемах, где может быть достигнут прогресс, поэтому возникает положение, при котором все решенные проблемы представляют случаи такой развязки от влияния Вселенной» [134, с. 2].

Подобная позиция распространялась Махом буквально на все обсуждаемые в его время физические понятия и явления. Видимо, отсюда и возникло множество пониманий принципа Маха. Нам представляется, что *в самом широком смысле под принципом Маха следует понимать идею об обусловленности локальных свойств частиц закономерностями и распределением всей материи мира, т. е. глобальными свойствами Вселенной.* Это относится к обсужденному выше отсутствию опережающих взаимодействий, к появлению сил радиационного трения, к значениям масс частиц и ко многим другим свойствам материи.

С принципом Маха также можно связать *гипотезу П. А. М. Дирака* о связи фундаментальных физических констант и о совместном их изменении. Здесь имеется в виду замеченная Дираком связь между фундаментальными константами, характеризующими, с одной стороны, элементарные частицы, и, с другой стороны, глобальные свойства Вселенной (ее размер, скорость расширения). Ряд таких любопытных соотношений указывался и анализировался в работах А. Эддингтона, Г. А. Гамова, К. П. Станюковича, В. Н. Мельникова и других авторов.

Во время приезда в нашу страну в 1971 году Дж. А. Уилер в беседе с теоретиками МГУ поднял вопрос: почему все электроны мира обладают одинаковыми электрическими зарядами независимо от места и способа наблюдения? Он сам же и дал ответ на этот вопрос, написав на стене кафедры теоретической физики над уже упоминавшейся фразой Нильса Бора слова: «Не может быть физики элементарных частиц, имеющей дело лишь с частицами». И расписался: «Ученик Н. Бора». Из этой фразы и из содержания беседы следовало, что Уилер имел в виду влияние всех частиц мира на отдельные взаимодействующие частицы.

Наиболее часто принцип Маха понимается как обусловленность *инертных масс* распределением всей материи Вселенной. Так, Дж. Нарликар писал: «Ньютоновская концепция инерции и ее измерение в единицах массы были для него неудовлетворительными. Если масса — количество материи в теле, то как понимать ее измерение? Для Маха масса и инерция были не внутренними свойствами тела, а следствиями существования во Вселенной, содержащей другую материю. Для того, чтобы измерить массу, необходимо использовать соотношение $\vec{F} = m\vec{a}$, т. е. измерить силу и поделить ее на производимое ею ускорение. Но 2-ой закон Ньютона сам зависит от использования абсолютного пространства, которое теперь идентифицируется с фоновым пространством далекой материи. Таким образом, согласно идее Маха, масса как-то определяется далекой материей» [84, с. 500].

Для реализации принципа Маха в такой его формулировке Ф. Хойл и Дж. Нарликар в большой серии работ (1964–1979) развили специальную теорию, названную ими теорией прямого межчастичного гравитационного взаимодействия, однако ее правильнее было бы назвать специальным вариантом теории прямого межчастичного *скалярного* взаимодействия на фоне искривленного пространства-времени общей теории относительности. Поясним суть теории прямого скалярного взаимодействия на фоне плоского пространства-времени Минковского.

Действие фоккеровского типа для системы скалярно взаимодействующих частиц записывается в виде, аналогичном (10.3.2), только теперь отсутствуют токи, а входят лишь некие заряды скалярных частиц g_i и g_k, заменяющие электрические заряды в (10.3.2). Выделяя частицу с номером $i = 1$, находим ее действие в виде

$$S_1^{(\varphi)} = -m_1 c \int ds_1 + \frac{g_1}{c} \int \varphi(x_1) ds_1, \tag{10.5.1}$$

где введен эффективный потенциал суммарного скалярного воздействия всех частиц на выделенную частицу:

$$\varphi(x_1) = \sum_k \varphi(x_1, x_k) = 2\pi \sum_k \int \delta(s^2(1,k)) g_k ds_k. \tag{10.5.2}$$

Из действия (10.5.1) вариационным методом получаются уравнения движения частицы в виде

$$(m_1 - g_1\varphi) \frac{d^2 x^\mu}{ds^2} = \frac{g_1}{c^2} \frac{\partial \varphi}{\partial x^\nu} (u^\nu u^\mu - \eta^{\nu\mu}). \tag{10.5.3}$$

Это уравнение показывает, что скалярное взаимодействие приводит к появлению обобщенной массы частицы, зависящей от эффективного скалярного потенциала[1] φ.

Вторая составная часть теории прямого скалярного взаимодействия — получение соотношений, соответствующих уравнениям поля, — в данном случае тривиальна. Очевидно, что в формуле (10.5.3) величина $\partial\varphi/\partial x^\mu$ играет роль напряженности скалярного поля, аналогичной тензору электромагнитного поля $F_{\mu\nu}$. Учитывая определение φ, согласно (10.5.2), и выражение для дельта-функции, легко получить тождество, заменяющее уравнение для скалярного поля в концепции близкодействия. Опять следует подчеркнуть, что *введенный выше скалярный потенциал и вектор скалярной напряженности определены лишь в тех точках, где находится частица*. Эти выражения бессмысленны во всех промежуточных (фиктивных) точках пространства-времени, где отсутствуют частицы.

Изложенное демонстрирует другой вариант теории фоккеровского типа — *теорию прямого межчастичного скалярного взаимодействия* на фоне пространства-времени Минковского. В серии работ Хойла и Нарликара фактически произведено обобщение этой теории на искривленное пространство-время общей теории относительности, что не меняет ее характера.

10.6. Прямое межчастичное гравитационное взаимодействие

Идеи Маха (немецкой физической школы XIX века) были возведены в ранг принципа А. Эйнштейном в 1919 году: «Принцип Маха: G-поле (метрическое поле — Ю. В.) полностью определено массами тел. Масса и энергия, согласно следствиям специальной теории относительности, представляют собой одно и то же; формально энергия описывается симметричным тензором энергии: это означает, что G-поле обуславливается и определяется тензором энергии материи» [143, с. 613]. В примечании Эйнштейн разъясняет: «Название «принцип Маха» выбрано потому, что этот принцип является обобщением требования Маха, что инерция должна сводиться к взаимодействию тел».

[1] Заметим, что аналогичные вклады в массу частиц можно получить и в рамках теорий геометрического видения мира, например, в скалярно-тензорных теориях гравитации и в многомерных моделях физических взаимодействий типа теорий Калуцы и Клейна, если не использовать условий постоянства дополнительных компонент метрики $G_{55}, G_{66}, \cdots$.

Как уже упоминалось, создавая общую теорию относительности, Эйнштейн был уверен, что реализует идеи Маха. Это проявилось, например, в письме Эйнштейна к Маху от 25 июня 1913 года: «В будущем году во время солнечного затмения будет проверено, изгибаются ли световые лучи Солнцем или, другими словами, верно ли основное фундаментальное предположение об эквивалентности ускоренной системы и гравитационного поля. Если это так, то Ваши вдохновляющие исследования об основах механики — вопреки несправедливой критике Планка — получат блестящее подтверждение. Тогда неизбежным будет то, что инерция проявляется как своего рода взаимодействие тел, вполне в духе Вашей критики ньютоновского эксперимента с вращающимся сосудом» [133, с. 262].

Однако вскоре после создания общей теории относительности стало ясно, что в ней принцип Маха выполняется в значительно более узком смысле. Его выполнимость можно усмотреть в том, что метрика становится функцией координат и зависит от распределения окружающей материи. Она находится из уравнений Эйнштейна, содержащих справа тензор энергии-импульса материи. Однако уравнения Эйнштейна допускают и вакуумные решения, т. е. в отсутствие материи.

Эйнштейн ожидал большего. То ли из-за осознания этого факта, то ли под влиянием фальсифицированного, якобы отрицательного отношения (уже престарелого) Маха к общей теории относительности, но спустя некоторое время он изменил свое отношение к идеям Маха. Он писал: «По мнению Маха в действительно рациональной теории инертность должна, подобно другим ньютоновским силам, происходить от взаимодействия масс. Это мнение я в принципе считал правильным. Оно неявным образом предполагает, однако, что теория, на которой все основано, должна принадлежать тому же общему типу, как и ньютонова механика: основными понятиями в ней должны служить массы и взаимодействия между ними. Между тем не трудно видеть, что такая попытка не вяжется с духом теории поля» [151, с. 268]. Скорее всего именно в этом состояло главное: эйнштейновская общая теория относительности оказалась построенной в духе традиционной теории поля (концепции близкодействия), тогда как Э.Мах мыслил в духе концепции дальнодействия.

В дальнейшем было показано, что теория гравитации так же, как и теория электромагнетизма, может быть сформулирована в рамках теории прямого межчастичного взаимодействия. Это было сделано в работах Я. И. Грановского и А. А. Пантюшина и далее исследовалась многими другими авторами. Для описания гравитационных взаимодействий нужно видоизменить принцип действия Фоккера (10.3.2), введя вме-

сто токов взаимодействующих частиц их тензоры энергии-импульса, т. е. произведения масс m_i на квадраты их скоростей u^μ:

$$S^{(g)}_{int}(1,2) = G\frac{m_1 m_2}{c}\int\int u^\mu_{(1)}u^\nu_{(1)}\left(\eta_{\mu\alpha}\eta_{\nu\beta}+\eta_{\mu\beta}\eta_{\nu\alpha}-\eta_{\mu\nu}\eta_{\alpha\beta}\right)\times$$
$$\times\, u^\alpha_{(2)}u^\beta_{(2)}\delta(s^2(1,2))ds_1 ds_2. \qquad (10.6.1)$$

Действие для системы гравитационно взаимодействующих частиц на фоне плоского пространства-времени записывается в виде (10.3.1), куда входят все взаимодействующие частицы и их парные комбинации.

Выделяя одну частицу с номером i, легко убедиться, что ее действие представляется в форме

$$S^{(g)}_i = -cm_i\int\left(1 - G\overset{0}{h}_{\mu\nu}(i)u^\mu_{(i)}u^\nu_{(i)}\right)ds_i, \qquad (10.6.2)$$

где использовано обозначение для потенциалов гравитационного воздействия на частицу i со стороны частицы j

$$\overset{0}{h}_{\mu\nu}(i,j) = \frac{m_j}{2c^2}\int\delta(s^2(i,j))(\eta_{\mu\alpha}\eta_{\nu\beta}+\eta_{\mu\beta}\eta_{\nu\alpha}-\eta_{\mu\nu}\eta_{\alpha\beta})u^\alpha_{(j)}u^\beta_{(j)}ds_j, \quad (10.6.3)$$

а также выражение для суммарного вклада $\overset{0}{h}_{\mu\nu}(i) = \sum_{j\neq i}\overset{0}{h}_{\mu\nu}(i,j)$ от всех частиц в месте нахождения частицы i.

Из действия (10.6.2) стандартными методами можно получить уравнения движения частицы i, которые можно представить в *форме уравнения геодезической линии в специально подобранной метрике риманова пространства-времени* (в первом порядке по G). Можно также показать, что в первом порядке по G *тождественно выполняются соотношения, соответствующие линеаризованным уравнениям Эйнштейна.*

Следует подчеркнуть, что прямое обобщение принципа Фоккера на случай гравитации приводит к приближенной эйнштейновской теории гравитации — в первом порядке разложения в ряды по гравитационной константе G. Но и этого оказалось достаточным для анализа приближенных уравнений движения сложных систем гравитирующих частиц, что было выполнено в группе К. А. Пирагаса и В. И. Жданова.

Для получения теории прямого межчастичного гравитационного взаимодействия, соответствующей эйнштейновской общей теории относительности, необходимо ввести в принцип действия Фоккера слагаемые более высоких порядков по G. В наших работах показано (см. [23]), что для этого к двухточечным выражениям (отношениям) теории Фоккера следует добавить трехточечные, четырехточечные и т. д. (многоточечные) слагаемые (в духе многоточечной геометрии В. Я. Скоробогатько

[110]). Таким образом, во 2-й половине XX века стало ясно, что можно было придти к общей теории относительности и в рамках концепции дальнодействия, т. е. А. Эйнштейн напрасно поторопился отречься в 1919 году от идей Э. Маха. Совершенно необязательно теория должна «вязаться с духом теории поля».

10.7. Фейнмановская формулировка квантовой механики

До сих пор рассматривались лишь классические аспекты теории прямого межчастичного взаимодействия. Перейдем к обсуждению вопроса, как в данной парадигме реляционного видения мира трактуются закономерности квантовой теории. Именно эта задача ставилась Р. Фейнманом во главу угла в его исследованиях теории дальнодействия. Об этом он сказал в своей Нобелевской лекции: «Но из книг я понял, что все затруднения теорий квантовой электродинамики проистекали из двух обстоятельств. Во-первых, из бесконечной энергии взаимодействия электрона с самим собой. Этот источник трудностей существовал даже в классической электродинамике. Во-вторых, из бесконечностей, обусловленных бесконечным числом степеней свободы поля. (...) Мне казалось совершенно очевидным, что представление об электроне, взаимодействующем с самим собой, о том, что электрические силы действуют на ту же самую частицу, которая их вызывает, излишне, что оно даже глупое. Поэтому для себя я решил, что электрон не может взаимодействовать с самим собой, а может взаимодействовать только с другими электронами. Но это значит, что никакого поля нет. (...) Мой общий план состоял в том, чтобы сначала решить классическую задачу, освободиться от бесконечной собственной энергии в классической электродинамике, а затем, после того как я на этой основе построю квантовую теорию, все должно было устроиться самым чудесным образом. (...) Вот так все и началось. Моя идея казалась мне настолько логичной и настолько изящной, что я влюбился в нее без памяти. А влюбиться без памяти в женщину можно только тогда, когда ты ее еще мало знаешь, а потому не видишь всех ее недостатков. Недостатки ты увидишь позже, но любовь уже достаточно сильна, чтобы удержать тебя. Так и я, благодаря своему юношескому энтузиазму, невзирая ни на какие трудности, оставался верен моей теории» [119, с. 194–197].

В итоге появилась новая, третья по счету (после шредингеровской и гейзенберговской), фейнмановская формулировка квантовой механики,

ныне известная под названием метода квантования суммированием по историям, или как метод континуального интегрирования. Он широко применяется в квантовой теории, причем порой даже забывают истоки этого метода. Все три формулировки оказались эквивалентными в традиционной области применения квантовой теории, однако порождают разный ход мысли при попытках обобщений теории и при выходе за пределы привычных представлений, что нас здесь больше всего интересует.

Прежде всего, следует напомнить, как Фейнман трактовал суть квантовой механики. Он сравнивал определения вероятностей процессов в классической теории вероятностей и в квантовой механике. Так, пусть в классической теории вероятностей определены вероятности W_{ab} событий b, если ранее произошло событие a и вероятности W_{bc} события c, если произошло событие b. Тогда классическая вероятность W_{ac} события c при известном событии a определяется классической формулой

$$W_{ac} = \sum_b W_{ab} W_{bc}, \tag{10.7.1}$$

где суммирование производится по всем возможным событиям b. Как пишет Р.Фейнман, в квантовой механике имеется следующий «замечательный закон»: существуют комплексные числа φ_{ab}, φ_{bc}, φ_{ac}, такие, что

$$W_{ab} = |\varphi_{ab}|^2, \quad W_{bc} = |\varphi_{bc}|^2, \quad W_{ac} = |\varphi_{ac}|^2, \tag{10.7.2}$$

которые заменяют классическое соотношение (10.7.1) на

$$\varphi_{ac} = \sum_b \varphi_{ab} \varphi_{bc}. \tag{10.7.3}$$

Легко видеть, если соотношение (10.7.3) выполняется, то в общем случае классическое соотношение (10.7.1) становится неверным.

Ключевым понятием в фейнмановском подходе является *пропагатор, т. е. амплитуда вероятности перехода частицы из одной точки пространства-времени в другую.* Она задается с помощью двух постулатов, фактически заменяющих аксиомы скалярного произведения (метрические) в гильбертовом пространстве.

Первый постулат формулируется так. Амплитуда вероятности $K(B, A)$ перехода (частицы, системы) из положения A в положение B равна сумме комплексных слагаемых $K(\Gamma)$ — по одному для каждой классической временно-подобной траектории $\Gamma(B, A)$, соединяющей эти положения. Поскольку на самом деле возможные классические траек-

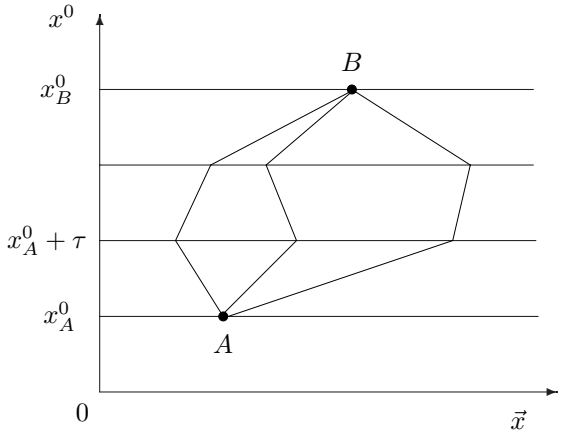

Рис. 10.4. Фейнмановское суммирование по историям

тории (пути) составляют континуум, суммирование означает интегрирование

$$K(B,A) = \int K(\Gamma(B,A))D\Gamma, \tag{10.7.4}$$

где $D\Gamma$ — специфическая мера.

Способ вычисления (10.7.4) поясним на примере одной нерелятивистской частицы. Пусть начальное положение частицы характеризуется моментом времени x^0_A и координатами x^j_A, а конечное — соответственно x^0_B, x^j_B. Промежуток времени $x^0_B - x^0_A$ разобьем на большое число n равных интервалов $\tau = (x^0_B - x^0_A)/n$ и рассмотрим совокупность пространственных сечений в моменты времени: $x^0_{(0)} = x^0_A$, $x^0_{(1)} = x^0_A + \tau \ \cdots \ x^0_{(n)} = x^0_A + n\tau$. Построим путь, составленный из прямых отрезков, которые соединяют произвольные точки из последовательности пространственных сечений (см. рис. 10.4). Взяв все возможные точки на этих сечениях и все возможные их комбинации, получим множество возможных путей Γ между точками A и B, соответствующих данному n (разбиению временного интервала). Обозначим вклад каждого отрезка между точками $(x^0_{(s)}, x^j_{(s)})$ и $(x^0_{(s+1)}, x^j_{(s+1)})$ как $K(s+1,s)$ и постулируем важное свойство этих вкладов вдоль пути Γ, соответсвующее постулату квантовой механики (10.7.3):

$$K_\Gamma(s,r) = K_\Gamma(s,k)K_\Gamma(k,r), \tag{10.7.5}$$

где вдоль пути Γ: $0 \le r < k < s \le n$. Тогда, переходя к пределу $n \to \infty$, можно выразить амплитуду перехода (10.7.4) через многократный ин-

теграл по всем возможным переходам между точками на совокупности 3-мерных сечений. Они образуют сумму по всем возможным путям.

Второй постулат позволяет записать в явном виде элементарные вклады $K(s+1,s)$. Он вытекает из идеи Дирака и состоит в следующем: «Все траектории вносят вклад, одинаковый по абсолютной величине; фаза каждого вклада представляет собой (выраженное в единицах $\hbar$) классическое действие, то есть взятый вдоль траектории интеграл от функции Лагранжа по времени» [118, с. 175]. Это означает, что

$$K(s+1,s) = \frac{1}{C}\exp\left[\frac{iS(s+1,s)}{\hbar}\right], \tag{10.7.6}$$

где $S(s+1,s)$ — классическое действие между соседними точками $(x^0_{(s+1)}, x^j_{(s+1)})$ и $(x^0_(s), x^0_{(s)})$; C — некий весовой множитель. Мультипликативное свойство (10.7.5) для вкладов $K(s,r)$ вдоль пути Γ соответствует аддитивности классического действия вдоль Γ:

$$S_\Gamma(s,r) = S_\Gamma(s,k) + S_\Gamma(k,r), \tag{10.7.7}$$

где опять $0 \le r < k < s \le n$. Особо следует подчеркнуть, что пути между соседними точками полагаются прямыми.

Сформулированные постулаты позволяют определить ранее введенное в физическом видении мира понятие амплитуды состояния $\psi(x^\mu)$, или волновой функции частицы в произвольный момент времени x^0. Это достигается обобщением пропагатора — амплитуды перехода из фиксированной начальной точки (x^0_1, x^j_1) — на случай произвольного начального распределения $\psi(x^0_1, x^j_1)$ в момент времени x^0_1:

$$\psi(x^0, x^j) = \int K(x^0, x^j; x^0_1, x^j_1)\psi(x^0_1, x^j_1)d^3x^j_1. \tag{10.7.8}$$

В работах Фейнмана показано, что так определенная волновая функция удовлетворяет (нерелятивистскому) уравнению Шредингера. Далее выстраивается здание общепринятой шредингеровской квантовой механики на языке фейнмановского подхода.

В работах Фейнмана и других авторов показано, как с помощью фейнмановской методики перейти от уравнения Шредингера к релятивистскому уравнению Клейна—Фока. Для этого предлагалось использовать дополнительную *пятую* координату, выполняющую роль обобщенного фактора эволюции, а четыре классические координаты пространства-времени тогда рассматриваются эквивалентным образом (конечно, с учетом сигнатуры), как три пространственные при выводе уравнения Шредингера.

Сложнее обстоит дело с непосредственным переходом к уравнению Дирака, если не пользоваться окольным путем извлечения квадратного корны из уравнения Клейна—Фока. Но и эта задача была решена Фейнманом.

Важную часть фейнмановской формулировки квантовой теории занимает описание взаимодействий. Следует подчеркнуть, что Фейнман развил диаграммную технику в квантовой теории поля, ныне известную как диаграммы Фейнмана, именно на основе своей формулировки квантовой теории. В значительной степени именно за этот результат ему была присуждена Нобелевская премия.

Как известно, решения уравнений Дирака описывают состояния как с положительными, так и с отрицательными энергиями. Очевидно, что теория дырок Дирака чужда духу теории прямого межчастичного взаимодействия, так как в последней *нет понятия вакуума*. Поэтому Фейнман предложил иную интерпретацию состояний с отрицательной энергией — *античастицы трактуются как частицы, движущиеся в обратном направлении времени*. Это приводит к существенному усложнению квантовой теории прямого межчастичного взаимодействия. Если в классическом варианте теории Фейнмана подразумевались лишь временноподобные траектории, направленные в сторону возрастания времени, то в релятивистской квантовой теории необходимо рассматривать также траектории в обратном направлении времени, т. е. возникают два типа путей[1]: Γ_+ и Γ_-, где значки снизу обозначают направление во времени.

Наличие мировых линий в обратном направлении времени совместно с принципом тождественности частиц неизбежно приводит на квантовом уровне к появлению замкнутых петель среди диаграмм фейнмановского типа, что эквивалентно самодействию частиц в теории поля. В итоге опять возникают бесконечности, т. е. проявляются прежние трудности квантовой теории поля, однако на ином языке.

В ряде работ Хойла, Дэвиса, Пегга и других анализировались эффекты и задачи, которые в стандартной квантовой теории поля трактуются посредством понятия вакуума и его флуктуаций. Было показано, что подобные эффекты, в частности лэмбовский сдвиг, эффект Казимира и другие, успешно могут быть переформулированы в терминах теории прямого взаимодействия через влияние со стороны возможных поглотителей Вселенной.

[1] В работах Г. В. Рязанова [106] два типа путей интерпретируются как два типа причинности и было предложено обобщение теории Фейнмана на случай четырех типов причинности.

10.8. Обоснование принципа Гюйгенса в отсутствие полей

В своей основополагающей работе по новой формулировке квантовой механики Фейнман писал: «Теорию электромагнетизма, развитую Уилером и Фейнманом, (...) можно сформулировать в виде принципа наименьшего действия, содержащего только координаты частиц. Именно попытка проквантовать эту теорию, не обращаясь к представлению о поле, и привела к изложенной здесь формулировке квантовой механики» [118, с. 202]. Спрашивается тогда, если электромагнитное поле исключено из теории, то каким образом объяснить явления дифракции и интерференции, доставившие в свое время физикам столько проблем и заставившие ввести понятие поля?

В работах Фейнмана дан достаточно убедительный ответ на этот вопрос. Как известно, согласно принципу Гюйгенса, дифракционная картина, возникающая при прохождении света через отверстия в непрозрачном экране, находится из сложения вкладов фиктивных источников света, распределенных в дырках экрана. Как писал Фейнман: «Дифрагированная волна выглядит так, как будто источником служит дырка в экране. Мы должны выяснить причину этого явления, ведь на самом деле именно в дырке *нет* источников, *нет* никаких зарядов, движущихся с ускорением» [121, с. 98].

Следуя «Фейнмановским лекциям по физике» [121], обсудим явление дифракции света от источника S на непрозрачном экране R с отверстиями K (см. рис. 10.5) с позиций теории прямого межчастичного взаимодействия. Будем называть электромагнитное воздействие источника на возможный поглотитель, как это принято, термином «поле», но только будем его заключать в кавычки[1], которые должны напоминать, что о «поле» можно говорить только в тех местах, где имеется возможный приемник, и его нет в точках пустого пространства. Рассмотрим «поле» в точке P в двух ситуациях: а) когда отверстия в экране закрыты крышками, так что экран непрозрачен для света, и б) когда крышки убраны.

а. *Отверстия в экране закрыты крышками.* Согласно теории прямого межчастичного взаимодействия, «поле» в точке P слагается, во-первых, из «поля» F_S, создаваемого источником S, с некоторым запаздыванием по фазе, и, во-вторых, из переизлученных «полей» от всех зарядов в экране F_R и в крышках F_K. Поскольку экран с крышками

[1] Р. Фейнман в своей Нобелевской лекции называл это «поле» полем Френкеля.

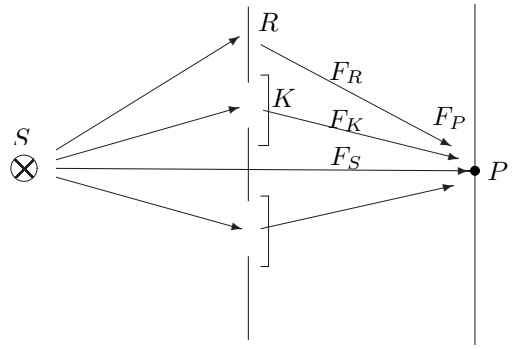

Рис. 10.5. Дифракция света, проходящего через щели в экране

непрозрачен для света, то, очевидно, «поле» F_P равно нулю:

$$F_P = F_S + F_R + F_K = 0, \tag{10.8.1}$$

т. е. «поле» источника *в точности компенсируется* переизлученными «полями» от всех атомов, составляющих экран и крышки.

б. *Крышки убраны*, т. е. имеет место обычное явление дифракции света на экране с отверстиями. В этом случае «поле» F'_P в точке P отлично от нуля и, согласно общим принципам теории прямого межчастичного взаимодействия, слагается из «поля» F_S источника и переизлученных «полей» F'_R атомами экрана (макроприбора), т. е. имеем

$$F'_P = F_S + F'_R. \tag{10.8.2}$$

Если отверстия достаточно велики, то можно положить, что переизлученные «поля» от экрана в обоих случаях одинаковы:

$$F_R = F'_R. \tag{10.8.3}$$

Вычитая из (10.8.2) соотношение (10.8.1) при учете (10.8.3), имеем

$$F'_P = (F'_R - F_R) - F_K = -F_K. \tag{10.8.4}$$

Фейнман следующим образом интерпретирует это соотношение: «Мы приходим к выводу, что «поле» в точке P *при открытых отверстиях* (случай б) равно (с точностью до знака) «полю», создаваемому *той частью* сплошного экрана, которая *находится на месте отверстий!* (Знак нас не интересует, поскольку обычно имеют дело с интенсивностью, пропорциональной квадрату поля.) Этот результат не только справедлив (в приближении не очень малых отверстий), но и важен; кроме всего прочего, он подтверждает справедливость обычной теории дифракции» [121, с. 100].

Таким образом, общепринятое объяснение дифракции света на основе принципа Гюйгенса в теории поля соотносится с описанием этого явления в рамках теории прямого межчастичного взаимодействия как *негатив соотносится с позитивом в фотографии.*

Заметим, что в теории прямого межчастичного взаимодействия Фоккера—Фейнмана частицы (дифрагирующие электроны) принципиально отличаются от дифрагирующих «полей» переносчиков взаимодействий (фотонов), однако ничто не мешает заменить «поля» на понятия *отношений* между рассматриваемым электроном (частицей) и всеми другими частицами, составляющими экран, крышки в отверстиях и частицей (детектором), помещенной в точку P. Если это сделать, то вклады путей электрона через отверстия (при снятых крышках), определяющие амплитуду вероятности его прохождения из S в P, согласно фейнмановскому методу суммирования по историям, можно уподобить вкладам гипотетических источников света в отверстиях экрана при подсчетах на основе принципа Гюйгенса. Опять применяя аналогию «негатив-позитив» в фотографии, можно утверждать, что амплитуда вероятности попадания электрона из точки S в точку P определяется отношениями электрона со всеми частицами экрана (с открытыми отверстиями) и с детектором в точке P. Но экран и детектор составляют макроприбор. Следовательно, *амплитуда вероятности данного процесса определяется отношениями электрона со всеми частицами макроприбора.*

10.9. Замечания и выводы по теории прямого взаимодействия

1. Изложенное в этой главе показывает, что в рамках теории прямого межчастичного взаимодействия (в иной метафизической парадигме) можно на другом языке изложить основные результаты, полученные в рамках физического (в теории поля) и геометрического миропониманий.

2. *Теория прямого межчастичного взаимодействия больше отвечает духу специальной теории относительности, нежели концепция близкодействия.* Взаимодействие на световом конусе соответствует нулевому интервалу, т. е. непосредственному контакту в релятивистском смысле.

3. Принципиально важным моментом теории Фоккера—Фейнмана является исключение из числа первичных понятий категории полей переносчиков взаимодействий. Их роль берут на себя пространство-время и характеристики частиц. Это относится как к классическим, так и к

квантовым аспектам теории. В связи с этим следует вспомнить вопрос, поставленный М.Планком еще на заре становления квантовой теории: «Действительно, вопрос о том, состоят ли световые лучи сами из квантов, или квантовое действие происходит только в материи, стоит перед всей теорией квантов в качестве первой и труднейшей дилеммы, и только ответ на него укажет путь дальнейшему развитию» [93, с. 137]. В теории поля (в физическом видении мира) пошли по первому пути, тогда как в теории прямого межчастичного взаимодействия исследуется вторая возможность.

В рамках этой парадигмы *категория поля принимает такой же фиктивный характер, как флогистон, теплород или эфир в былые времена.*

4. В теории прямого межчастичного взаимодействия отражается идея о *целостности мира и всеобщей связи всех явлений в нем*, что принято называть принципом Маха. Многие понятия, трактуемые в теории поля как внутренние характеристики (свойства) частиц, в данной парадигме объясняются через глобальные свойства Вселенной.

5. Особо следует подчеркнуть, что в теории Фоккера—Фейнмана *принципиально отсутствует понятие вакуума* — хрустальной мечты и заветной цели исследований многих сторонников физического миропонимания. Вместо вакуума и связанных с ним локальных флуктуаций поля выступает влияние всей окружающей материи Вселенной.

6. В рамках данной парадигмы реляционного миропонимания *имеет место присущая ей фейнмановская формулировка (интерпретация) квантовой теории*, эквивалентная копенгагенской в устоявшемся круге задач квантовой теории, однако таящая в себе новые возможности при анализе нерешенных проблем фундаментальной теоретической физики.

7. Любопытно отметить, что несмотря на то, что концепция дальнодействия (реляционное миропонимание) в XX веке была далека от магистрального пути развития физики, все же она оказала заметное влияние на науку. Выше уже отмечалось, что А. Эйнштейн, создавая общую теорию относительности, мыслил в русле концепции дальнодействия. Другой пример представляют результаты Р. Фейнмана по квантовой электродинамике, за которые ему в 1965 году была присуждена Нобелевская премия.

Уже этого достаточно, чтобы сделать общий вывод о том, что **физика XX века могла бы развиваться на основе концепции прямого межчастичного взаимодействия**. Напомним, что это уже третий возможный путь, если иметь в виду реально осуществившийся путь в рамках физического миропонимания и ранее обсуждавшуюся возможность

на основе многомерных геометрических моделей (в рамках геометрического миропонимания).

Этого не случилось из-за ряда обстоятельств как субъективного, так и объективного характера. Назовем наиболее существенные из них.

1. Прежде всего, следует назвать психологический фактор. Исследователям оказался более привычным и естественным способ рассуждений на основе концепции близкодействия, а факторы, которые могли бы заставить их пересмотреть устоявшиеся представления не были замечены.
2. В рамках теории прямого межчастичного взаимодействия не удалось преодолеть трудности с расходимостями в квантовой теории поля, на что так надеялся Р.Фейнман. В релятивистской квантовой теории прямого межчастичного взаимодействия проявились прежние трудности квантовой теории поля, но на ином языке.
3. Теория прямого взаимодействия не могла помочь в построении модели электрослабых взаимодействий или хромодинамики. Напомним, что три разновидности теории прямого взаимодействия, обсужденные выше, различались по тензорному характеру использованных характеристик частиц (по степеням скоростей). Так, теория прямого межчастичного скалярного взаимодействия строилась на основе нулевых степеней скорости. Теория прямого межчастичного электромагнитного взаимодействия использует первые степени скорости (вектор-векторное взаимодействие двух частиц). Прямое гравитационное взаимодействие опирается на квадратичные комбинации из скоростей.

Для построения прямых межчастичных аналогов модели электрослабых и сильных взаимодействий понадобилась теория, основанная на первых степенях скоростей, однако это неестественное (даже неожиданное) для данной теории решение. Оно требовало привлечения соображений, не вытекающих из внутренней логики данного направления.

4. Во второй половине XX века исследования в рамках концепции дальнодействия замедлились. Как отмечали сторонники этого подхода, для дальнейшего развития исследований необходимо было привлечь новые идеи как математического, так и физического характера.
5. Но самое главное заключалось в том, что теория прямого межчастичного взаимодействия остановилась на полпути. Описав реляционным образом физические взаимодействия, она не затронула сути классического пространства-времени, — оно осталось прежним. Однако сам факт отказа от полей переносчиков взаимодействий свидетельствует

о потере пространством-временем одного из главных своих назначений — быть фоном, на котором определены и распространяются поля в концепции близкодействия. Это отмечалось многими исследователями концепции дальнодействия, приходившими к выводу о *реляционном характере самого пространства-времени*, однако переформулировать теорию пространства-времени в таком духе долгое время не удавалось, а когда это было сделано (на основе унарных физических структур Ю. И. Кулакова), на это не обратили должного внимания.

Глава 11

Реляционная концепция пространства-времени и теория физических структур

В центре внимания теории прямого межчастичного взаимодействия были физические категории пространства-времени и частиц, однако вопрос об объединении именно этих двух категорий в некую одну, более общую, в ней явно не ставился. Он был фактически решен Ю. И. Кулаковым, сравнительно недавно открывшим так называемые (унарные) физические структуры, через которые можно описать такую обобщенную категорию. (Это соответствует «выходу» на левую грань куба физического мироздания на рисунке 11.1.)

В теории физических структур Кулакова содержится оригинальный математический аппарат и предлагается своеобразное философское осмысление. В настоящей работе принимается математический аппарат теории структур, однако ему дается иная физическая (метафизическая) интерпретация. В частности, Кулаков предлагает описывать физическими структурами все возможные точки геометрии, включая те, где нет

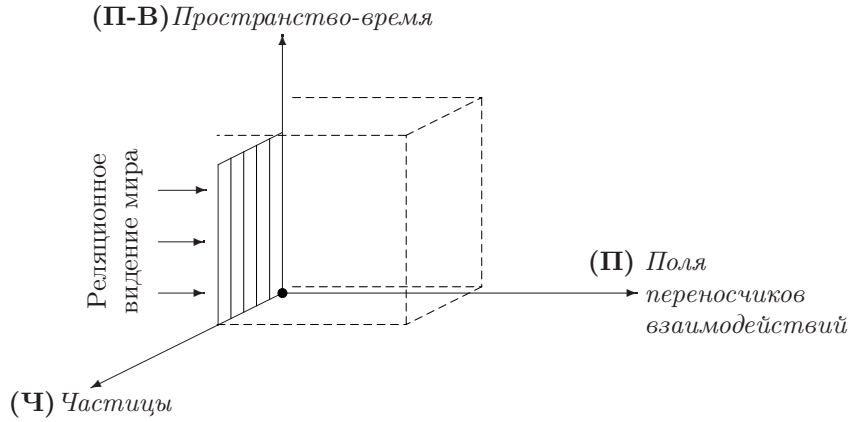

Рис. 11.1. Реляционное видение мира.

никаких материальных объектов, тогда как в нашем подходе вводятся отношения в духе теории прямого межчастичного взаимодействия: только между теми точками, где имеются частицы или где произошли реальные события.

В работах Кулакова по теории физических структур были получены довольно скромные результаты по описанию оставшейся категории полей переносчиков взаимодействий: удалось переформулировать в реляционном духе лишь некоторые закономерности общей физики (2-й закон Ньютона, закон Ома и некоторые другие), однако был открыт новый математический аппарат бинарных физических структур (бинарные геометрии), оказавшийся крайне необходимым для построения бинарной геометрофизики (для перехода к монистической парадигме), рассматриваемой в следующей главе.

11.1. Реляционная концепция пространства и времени

В теории прямого межчастичного взаимодействия исключены поля переносчиков взаимодействий, что сразу же приводит к мысли об отказе от самого пространства-времени как самостоятельной категории, как фона, по которому, согласно концепции близкодействия, распространяются поля. Эта мысль, как минимум, заставляет отказаться от континуума лишних точек, обычно помещаемых между реально существующими материальными объектами (частицами). В итоге приходим к так называемой *реляционной концепции пространства и времени*, согласно которой пространство и время описывают лишь отношения между материальными объектами (событиями) и не имеют права на самостоятельное существование в их отсутствии. Этот подход имеет довольно богатую историю.

В XVII–XVIII веках сторонником реляционной концепции был Г. Лейбниц. Его понимание сущности пространства и времени отражено в уже упоминавшейся дискуссии с С. Кларком, где он писал: «Я неоднократно подчеркивал, что считаю *пространство*, так же как и время, чем-то чисто относительным: пространство — *порядком сосуществования*, а время *порядком последовательностей*» [72, с. 441].

Далее следует напомнить позицию Э. Маха, утверждавшего, «что во временной зависимости выражаются простейшие непосредственные физические отношения. (...) В пространственных отношениях находит свое выражение посредственная физическая зависимость» [79, с. 437].

В высказываниях Лейбница и Маха мы находим чрезвычайно важное, ключевое для всего реляционного подхода к природе пространства-времени понятие *отношения*. В геометрии отношение не что иное, как *метрика (расстояния)*. Однако в ее современном изложении, как правило, исходят из координатной системы в многообразии той или иной размерности, а затем задается метрика. Но возможен и другой ход рассуждений: можно начинать с расстояний — парных отношений между точками, а затем уже из них получать координаты и все другие понятия. Примечательно, что упоминание о таком подходе к геометрии мы находим уже у Э. Маха, который писал: «Интересную попытку обосновать евклидову и неевклидову геометрию на одном понятии расстояния мы находим у Ж.Де Тилли (1880 г.)» [79, с. 380]. Элементы этого подхода можно найти также у Ф. Клейна. Значительно позднее в его рамках была написана книга К. М. Блюменталя «Теория и применение геометрии расстояний» (1953) [8].

С некоторыми фрагментами переформулировки геометрии в терминах расстояний встречается каждый школьник. Известно определение площади треугольника через половину произведения основания на высоту. Но можно определить его площадь исключительно через расстояния (отношения) между его вершинами. Пусть его вершины обозначаются буквами i, j, k, а расстояния между ними (длины сторон) есть l_{ik}, l_{ij}, l_{jk}. Тогда квадрат площади треугольника S^2_{ijk} находится по формуле Герона

$$S^2_{ijk} = \frac{1}{16}(l_{ik}+l_{ij}+l_{kj})(l_{ik}+l_{ij}-l_{kj})(l_{ik}-l_{ij}+l_{kj})(-l_{ik}+l_{ij}+l_{kj}). \quad (11.1.1)$$

Легко показать, что это выражение можно переписать с помощью *определителя Кэли—Менгера*, записанного для трех точек (вершин треугольника),

$$16S^2_{ikj} = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & l^2_{ik} & l^2_{ij} \\ 1 & l^2_{ki} & 0 & l^2_{kj} \\ 1 & l^2_{ji} & l^2_{jk} & 0 \end{vmatrix}. \quad (11.1.2)$$

Аналогичным образом через определитель Кэли—Менгера на четырех точках находится квадрат 3-мерного объема

$$288V^2_{ikjn} = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & l^2_{ik} & l^2_{ij} & l^2_{in} \\ 1 & l^2_{ki} & 0 & l^2_{kj} & l^2_{kn} \\ 1 & l^2_{ji} & l^2_{jk} & 0 & l^2_{jn} \\ 1 & l^2_{ni} & l^2_{nk} & l^2_{nj} & 0 \end{vmatrix}. \quad (11.1.3)$$

Эти формулы можно обобщить на объемы большей размерности в многомерных евклидовых пространствах.

В определителях Кэли—Менгера по горизонтали и вертикали содержатся одни и те же наборы точек. С помощью обобщенных определителей Кэли—Менгера, в которых по горизонтали и вертикали допускаются разные наборы точек, можно выразить плоский угол между двумя лучами, исходящими из одной вершины, двугранные углы, телесные углы и т. д. Для задания декартовых координат произвольной точки i в 3-мерном пространстве достаточно задать три эталонные точки. Зная расстояние между точкой i и всеми эталонными точками, можно записать через обобщенные определители Кели-Менгера три декартовы координаты точки i. Известные преобразования декартовых координат можно трактовать как изменения наборов эталонных точек.

Аналогичную теорию на базе расстояний можно построить и для геометрии Лобачевского, и для римановой геометрии постоянной положительной кривизны, и для других видов геометрий. Даже геометрию произвольного риманова пространства можно развить, исходя не из координат, а из расстояний (метрики).

В специальной и общей теориях относительности ключевым понятием также является отношение, только в них рассматриваются отношения между парами *событий* и они называются *интервалами* s_{ik} между событиями i и k.

В рассмотренной выше теории прямого межчастичного взаимодействия *вклады в действие, обусловленные их взаимодействием*, также являются специальными видами отношений между зарядами (телами).

Отметим, что отношения можно усмотреть и в рамках общепринятой теории поля. *Слагаемые в действии или лагранжиане систем, описывающие взаимодействия, представляют собой не что иное, как своеобразные отношения между составными частями систем.*

Можно привести и другие примеры использования отношений в физике. Объект, не находящийся в каких-либо отношениях с другими объектами, не взаимодействующий с ними, является своего рода «вещью в себе» и нет никаких оснований говорить о его существовании.

Геометрическое миропонимание сейчас представлено достаточно развитыми теориями (общей теорией относительности, теориями Калуцы—Клейна) и опирается на методы дифференциальной геометрии, предполагающие наличие континуума точек. До самого последнего времени сторонники реляционного подхода могли предъявить лишь общие соображения философского характера и, в какой-то степени, теорию прямого межчастичного взаимодействия.

Во второй половине 60-х годов XX века реляционный подход получил достаточно вескую опору и в математическом плане благодаря разработанной Ю.И.Кулаковым теории физических структур — универсальной теории отношений, претендующей на общефилософское звучание. Создание этой теории высоко оценил Нобелевский лауреат, академик И. Е. Тамм: «В рамках теории физических структур по-новому осмысливается проблема единства мира, — у современных ученых еще силен искус решения этой проблемы в субстанциалистическом духе. Однако не исчерпал ли себя этот подход? С точки зрения теории физических структур, более перспективно искать не исходную «первоматерию», а исходные «первоструктуры», — такая переформулировка проблемы единства мира представляется нам несравненно более преимущественной и в логическом, и в естественно-научном отношении» [66, с. II]. И. Е. Тамм отмечал, что «в рамках теории физических структур интереснейшая проблема (единства мира — Ю. В.) решается со всей полнотой, ибо здесь осуществляется переход от уровня уравнений к уровню фундаментальных структур; лежащие в их основе отношения могут изоморфно проявляться на разных уровнях организации материи».

Оказывается, можно прийти к известным видам геометрий с симметриями, в том числе и к рассмотренным выше неевклидовым геометриям, исходя из теории физических структур Кулакова. Поскольку эта теория сейчас мало кому известна, приведет ее основные положения.

11.2. Унарные физические структуры как геометрии

Допустим, что мы ничего не знаем о геометрии и хотим построить теорию, исходя лишь из понятий отношений (расстояний). Очевидно, что постулирования отношений между элементами еще недостаточно для построения содержательной теории. Необходимо, чтобы эти отношения удовлетворяли каким-то условиям. Должны быть некие законы, ограничивающие произвол в значениях отношений. Такие законы имеются в геометрии. Например, если взять три точки в евклидовой геометрии, то расстояния между ними не могут быть произвольными. Это видно хотя бы из неравенства треугольника: $|l_{ij} + l_{jk}| > l_{ik} > |l_{ij} - l_{jk}|$. Имеются и другие, более точные законы, управляющие значениями расстояний. Из каких соображений установить условия на отношения, чтобы теория приняла вид известных геометрий? Такой вопрос был поставлен и решен в работах Ю. И. Кулакова (см. [65–67]) и его учеников. Было установлено, что *имеют место некие законы — алгебраические соотноше-*

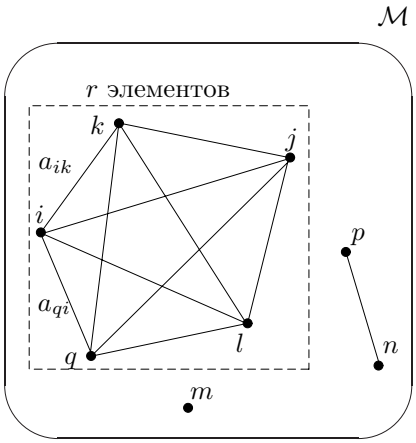

Рис. 11.2. Унарная теория отношений (теория структур на одном множестве элементов)

ния, связывающие друг с другом числа-отношения между элементами (точками).

Если согласиться с алгебраическим характером законов, то возникает вопрос: сколько отношений (расстояний) он связывает? Оказывается, вопрос надо ставить иначе: нужно говорить не о количестве отношений в законе, а о количестве элементов, между которыми он связывает все парные отношения (тройные или иные) (см. рис. 11.2). Для двух элементов — это само парное отношение. Следовательно, в рамках теории такого рода (на одном множестве элементов) можно говорить о законах для трех элементов, четырех, пяти и т. д. Назовем эти количества элементов *рангами* (r) законов, тогда каждый закон ранга $r = 3, 4, 5, \ldots$ связывает между собой столько парных отношений, сколько можно построить сочетаний из r элементов по два. Обозначая парные отношения между элементами i и k через a_{ik}, можно записать закон в виде равенства нулю некоторой функции $\Phi_{(r)}$ от $r(r-1)/2$ парных отношений типа a_{ik}

$$\Phi_{(r)}(a_{ik}, a_{ij}, \ldots, a_{jk}, \ldots) = 0. \tag{11.2.1}$$

Законы отличаются друг от друга, прежде всего, рангами.

Для нахождения вида функций $\Phi_{(r)}$ используется свойство симметрии, т. е. равноправия всех элементов рассматриваемого множества. Это означает, что вместо одного конкретного набора из r элементов: $i, k, j, \ldots$ можно выбрать набор из каких угодно других r элементов: $p, m, n, \ldots$. Если взять новые элементы и подставить отношения между ними в (11.2.1), то закон должен по-прежнему выполняться. Такую симметрию

Кулаков назвал *феноменологической* (мы будем называть ее *фундаментальной симметрией*). Напомним, что понятие симметрии в настоящее время пронизывает всю физику, однако, как правило, эти симметрии описываются на языке групп Ли. На первый взгляд, не видно никакой связи между обычно используемыми симметриями и фундаментальными симметриями в теории систем отношений (физических структур). Однако, это не так.

Оказывается, условие фундаментальной симметрии законов (11.2.1) чрезвычайно содержательно и позволяет перейти к системе функционально-дифференциальных уравнений [1] и из них находить вид функций $\Phi(a_{ik},\ldots)$, т. е. найти конкретные виды законов. Все эти математические вопросы подробно изложены в работах Ю. И. Кулакова и его группы (см. [65–67]), посвященных теории отношений, которая получила название *теории физических структур*. Охарактеризуем основные результаты этих исследований.

Прежде всего, нужно остановиться на вопросе о возникновении понятия координат. В законе (11.2.1) всегда можно выделить $r-2$ элемента и считать их *эталонными*, т. е. раз и навсегда заданными. Тогда закон (11.2.1) можно трактовать как определение отношения a_{ik} между двумя произвольными (неэталонными) элементами i и k через их отношения к $r-2$ эталонным элементам, образующим *базис структуры*. При этом отношения между элементами базиса считаются изначально заданными для данной структуры. Отношения произвольных элементов к эталонным (или некоторые функции от этих отношений) понимаются как координаты элементов (точек) в заданном базисе. Таким образом, понятие ранга r структуры соответствует размерности n в геометрии, — между ними имеется однозначная связь

$$r = n + 2. \tag{11.2.2}$$

Координатные преобразования в общепринятой теории соответствуют в теории физических структур переходам от одних наборов эталонных элементов к другим.

В работах Г. Г. Михайличенко и В. Х. Льва, учеников Ю. И. Кулакова, из решений функционально-дифференциальных уравнений были найде-

[1] Точнее будет сказать, что сверх фундаментальной симметрии еще необходимо постулировать непрерывность, т. е. наложить требование, согласно которому множество элементов образует многообразие и позволяет перейти к функционально-дифференциальным уравнениям. Но когда решения уравнений уже получены, можно ограничиться дискретным набором элементов. Отметим, что в группе Ю. И. Кулакова было затрачено немало усилий на то, чтобы получить законы структур без требования о непрерывности множества элементов.

ны все возможные законы (при вещественных парных отношениях) для систем отношений (физических структур на одном множестве элементов) рангов $r = 3, 4, 5$. С увеличением ранга существенно возрастает трудность нахождения законов. Для каждого ранга r имеется несколько решений, которые, как оказалось, соответствуют известным геометриям: Евклида, Лобачевского, Римана и некоторым другим.

Поясним вид законов сначала для простейшего случая $r = 3$, что соответствует $n = 3 - 2 = 1$, т. е. одномерной геометрии. Одной из них является геометрия на прямой неориентированной линии. Ее закон имеет вид

$$\Phi_{(3)}(a_{ik}, a_{ij}, a_{jk}) = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & a_{ik} & a_{ij} \\ 1 & a_{ki} & 0 & a_{kj} \\ 1 & a_{ji} & a_{jk} & 0 \end{vmatrix} = 0, \qquad (11.2.3)$$

где парные отношения $a_{ik} = l_{ik}^2 = (x_i - x_k)^2$. Здесь x — координаты, характеризующие элементы множества. Сравнивая (11.2.3) с выражением для квадрата площади треугольника, задаванного определителем Кэли—Менгера (11.1.2), приходим к выводу, что этот закон означает обращение в нуль площади треугольника, построенного на любых трех точках, т. е. что все точки лежат на одной прямой.

Евклидово 3-мерное пространство (геометрию) можно описать через унарную структуру ранга 5. При этом в качестве парного отношения выступает квадрат расстояния l_{ik}^2 между парой произвольных точек i и k. Выберем 5 произвольных точек: i, k, m, n, p, тогда закон унарной структуры ранга 5, соответствующей 3-мерной евклидовой геометрии, записывается в виде:

$$\Phi_{(5)} = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & l_{ik}^2 & l_{im}^2 & l_{in}^2 & l_{ip}^2 \\ 1 & l_{ki}^2 & 0 & l_{km}^2 & l_{kn}^2 & l_{kp}^2 \\ 1 & l_{mi}^2 & l_{mk}^2 & 0 & l_{mn}^2 & l_{mp}^2 \\ 1 & l_{ni}^2 & l_{nk}^2 & l_{nm}^2 & 0 & l_{np}^2 \\ 1 & l_{pi}^2 & l_{pk}^2 & l_{pm}^2 & l_{pn}^2 & 0 \end{vmatrix} = 0. \qquad (11.2.4)$$

Левая часть этого соотношения с точностью до коэффициента равна квадрату 4-мерного объема V_{ikmnp}^2 фигуры, построенной на пяти точках. Обращение в нуль объема означает, что эти пять точек лежат в 3-мерной гиперплоскости 4-мерного евклидова пространства, т. е. находятся в 3-мерном евклидовом пространстве.

Закон (11.2.4) тождественно выполняется, если парное отношение l_{ik}^2 характеризуется тройками координат элементов и имеет вид

$$l_{ik}^2 = (x_i - x_k)^2 + (y_i - y_k)^2 + (z_i - z_k)^2. \qquad (11.2.5)$$

Это знакомое выражение квадрата длины через квадраты разностей координат.

Не будем выписывать вид других возможных законов, приведенных в ряде статей и в книгах [27, 65, 66]. Для структуры ранга 5 имеются 10 решений, которым соответствует 10 видов 3-мерных геометрий. Среди них имеется еще и псевдоевклидова геометрия, характеризуемая тем же законом (11.2.4), но с метрикой другой сигнатуры

$$\tilde{l}_{ik}^2 = (x_i - x_k)^2 + (y_i - y_k)^2 - (z_i - z_k)^2, \qquad (11.2.6)$$

имеется также первая неевклидова геометрия (Лобачевского), вторая неевклидова геометрия (Римана), своеобразная симплектическая геометрия и некоторые другие. Примечательно, что, кроме широко известных геометрий, имеется еще три практически неизвестные геометрии, названные экзотическими, о которых лишь значительно позже были найдены упоминания в забытых работах геометров.

11.3. Системы отсчета и координатные системы в пространстве-времени Минковского

Особо остановимся на характерных чертах классического 4-мерного пространства-времени Минковского в реляционном подходе.

Закон пространства-времени Минковского, согласно изложенному выше, записывается через определитель Кэли—Менгера для 6 точек-событий $i, k, a,\ b, c, d$:

$$\Phi_{(6)} \equiv D_{ikabcd} = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & s_{ik}^2 & s_{ia}^2 & s_{ib}^2 & s_{ic}^2 & s_{id}^2 \\ 1 & s_{ki}^2 & 0 & s_{ka}^2 & s_{kb}^2 & s_{kc}^2 & s_{kd}^2 \\ 1 & s_{ai}^2 & s_{ak}^2 & 0 & s_{ab}^2 & s_{ac}^2 & s_{ad}^2 \\ 1 & s_{bi}^2 & s_{bk}^2 & s_{ba}^2 & 0 & s_{bc}^2 & s_{bd}^2 \\ 1 & s_{ci}^2 & s_{ck}^2 & s_{ca}^2 & s_{cb}^2 & 0 & s_{cd}^2 \\ 1 & s_{di}^2 & s_{dk}^2 & s_{da}^2 & s_{db}^2 & s_{dc}^2 & 0 \end{vmatrix} = 0, \qquad (11.3.1)$$

где парные отношения имеют смысл квадратов интервалов между парами точек-событий. Они представляются через параметры (координаты) точек следующим образом

$$s_{ik}^2 = (x_i^0 - x_k^0)^2 - \sum_{l=1}^{3}(x_i^l - x_k^l)^2 \equiv \tau_{ik}^2 - l_{ik}^2. \qquad (11.3.2)$$

Здесь x_i^μ, x_k^μ — координаты точек-событий. Закон (11.3.1) выполняется тождественно при подстановке в него (11.3.2).

Определение системы отсчета. Отметим, что закон (11.3.1) не позволяет однозначно фиксировать сигнатуру 4-мерного многообразия. Допускаются сигнатуры: $(+\,+\,+\,+)$, $(+\,-\,-\,-)$, $(+\,+\,-\,-)$ и эквивалентные сигнатуры с заменой знаков плюс на минусы и наоборот. Следовательно, необходимы дополнительные аксиомы, выделяющие сигнатуру $(+\,-\,-\,-)$. Эти аксиомы образуют уже упоминавшийся блок аксиом частичной упорядоченности, которые часто задают раньше метрических аксиом. Последние согласовываются с упорядоченностью событий. Временно-подобные события имеют $s^2 > 0$, а пространственно-подобные характеризуются $s^2 < 0$.

С помощью определителей Кэли—Менгера и разделения точек-событий на пространственно- и временно-подобные можно выделить 3-мерные пространственно-подобные сечения и тем самым определить *системы отсчета* наблюдателей. В частности, пусть с наблюдателем произошло событие a. Чтобы задать пространственное сечение, содержащее a, достаточно выбрать еще три (эталонные) пространственно-подобные к a точки-события: b, c, d, для которых $D_{abcd} \neq 0$,а четыре события a, b, c, d можно объявить одновременными (см. рис. 11.3). Задаваемому сечению принадлежат все пространственно-подобные к выделенным четырем точки-события p, для которых $D_{abcdp} = 0$. Таким образом выделяется 3-мерная евклидова геометрия, определенная ранее формулами (11.2.4) и (11.2.5).

Координата времени произвольной точки-события i определяется через ее отношения (интервалы) к четырем эталонным точкам-событиям. Поскольку четыре эталонные точки одновременны по определению, т. е. $x_a^0 = x_b^0 = x_c^0 = x_D^0 \equiv x^0$, то для 6 квадратов интервалов между ними имеем

$$\begin{aligned} &s_{ab}^2 = -l_{ab}^2; \quad s_{ac}^2 = -l_{ac}^2; \quad s_{ad}^2 = -l_{ad}^2; \\ &s_{bc}^2 = -l_{bc}^2; \quad s_{bd}^2 = -l_{bd}^2; \quad s_{cd}^2 = -l_{cd}^2, \end{aligned} \qquad (11.3.3)$$

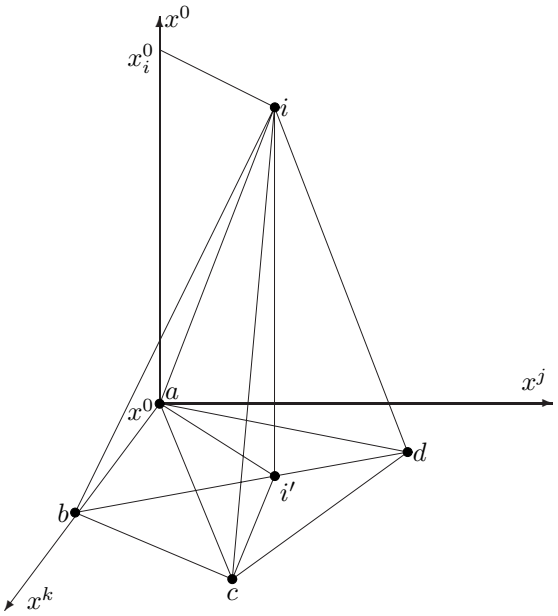

Рис. 11.3. Определение четырех координат произвольного события i через интервалы

а квадраты интервалов между событием i и эталонными точками имеют вид

$$\begin{aligned} s_{ia}^2 &= \tau^2 - l_{ia}^2; \quad s_{ib}^2 = \tau^2 - l_{ib}^2; \\ s_{ic}^2 &= \tau^2 - l_{ic}^2; \quad s_{id}^2 = \tau^2 - l_{id}^2, \end{aligned} \tag{11.3.4}$$

где $\tau = x_i^0 - x^0$. Пусть i' — проекция точки i на 3-мерное пространственное сечение, тогда для пяти точек i', a, b, c, d можно записать закон унарной структуры ранга 5:

$$D_{i'abcd} = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & \tau^2 - s_{ia}^2 & \tau^2 - s_{ib}^2 & \tau^2 - s_{ic}^2 & \tau^2 - s_{id}^2 \\ 1 & \tau^2 - s_{ai}^2 & 0 & l_{ab}^2 & l_{ac}^2 & l_{ad}^2 \\ 1 & \tau^2 - s_{bi}^2 & l_{ba}^2 & 0 & l_{bc}^2 & l_{bd}^2 \\ 1 & \tau^2 - s_{ci}^2 & l_{ca}^2 & l_{cb}^2 & 0 & l_{cd}^2 \\ 1 & \tau^2 - s_{di}^2 & l_{da}^2 & l_{db}^2 & l_{dc}^2 & 0 \end{vmatrix} = 0. \tag{11.3.5}$$

Это выражение можно расссматривать как уравнение относительно неизвестной τ^2. Расписывая определитель, получаем уравнение

$$D_{iabcd} + 2\tau^2 D_{abcd} = 0, \tag{11.3.6}$$

где D_{iabcd} — определитель Кэли—Менгера, составленный из квадратов интервалов между пятью точками i, a, b, c, d, а D_{abcd} — определитель Кэли—Менгера для четырех эталонных точек. Решением уравнения является

$$\tau^2 = -\frac{D_{iabcd}}{2D_{abcd}} \to x_i^0 = x^0 + \sqrt{\frac{-D_{iabcd}}{2D_{abcd}}}. \tag{11.3.7}$$

Используя (11.3.7), из (11.3.4) легко найти l_{ia}^2, l_{ib}^2, l_{ic}^2, l_{id}^2, т. е. квадраты расстояний от проекции i' до четырех эталонных точек.

Координатная система и пространственные координаты. Для нахождения трех пространственных координат x_i^1, x_i^2, x_i^3 следует конкретизировать выбор используемой *координатной системы*. Выберем ее так, чтобы точка-событие a лежала в начале координат, ось x^1 направим вдоль вектора $\vec{ab}$, а ось x^2 — так, чтобы точка c лежала в плоскости (x^1x^2). Тогда задача нахождения пространственных координат точки i' в 3-мерном пространстве по ее расстояниям до эталонных точек не представляет труда. Чтобы записать ответ в наиболее компактном виде, введем *обобщенный определитель Кэли—Менгера*, который записывается для двух подмножеств элементов i, k, m, $\cdots$ и a, b, c, $\cdots$, содержащих одинаковые количества элементов, которые могут совпадать, как при записи обычного определителя Кэли-Менгера, а могут и различаться. В самом общем случае такие определители имеют вид

$$D_{ikm\cdots;abc\cdots} = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & \cdots \\ 1 & a_{ia} & a_{ib} & a_{ic} & \cdots \\ 1 & a_{ka} & a_{kb} & a_{kc} & \cdots \\ 1 & a_{ma} & a_{mb} & a_{mc} & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \end{vmatrix}. \tag{11.3.8}$$

Через обобщенный определитель Кэли—Менгера координаты точки i' записываются следующим образом:

$$x_i^1 = \frac{D_{ai';ab}}{\sqrt{-2D_aD_{ab}}}; \quad x_i^2 = -\frac{D_{abi';abc}}{\sqrt{-2D_{ab}D_{abc}}};$$
$$x_i^3 = \frac{D_{abci';abcd}}{\sqrt{-2D_{abc}D_{abcd}}}, \tag{11.3.9}$$

где в первой формуле использовано обозначение определителя

$$D_a \equiv \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{vmatrix} = -1$$

для придания симметрии всей совокупности формул.

Реляционная геометрия. Через обобщенные определители Кэли—Менгера записывается ряд других геометрических выражений, например, углы между двумя лучами, исходящими из одной точки, значения двугранных и телесных углов и т. д. Таким образом, всю евклидову (и псевдоевклидову) геометрию можно переписать через понятия расстояний.

Приведем еще формулу для определителя Кэли—Менгера порядка, на единицу меньшего того, через который записывается закон системы отношений (геометрии). Например, в 3-мерном евклидовом пространстве, как уже отмечалось, определитель Кэли—Менгера на четырех точках с точностью до коэффициента определяет квадрат 3-мерного объема, однако его можно также записать через координаты данных точек в форме:

$$D_{abcd} = 288V_{abcd}^2 = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ x_a^1 & x_b^1 & x_c^1 & x_d^1 \\ x_a^2 & x_b^2 & x_c^2 & x_d^2 \\ x_a^3 & x_b^3 & x_c^3 & x_d^3 \end{vmatrix}^2, \qquad (11.3.10)$$

где x_a^k, x_b^k, x_c^k, x_d^k — координаты четырех выбранных точек ($k = 1, 2, 3$).

Координатные преобразования. Изменяя в (11.3.10) набор эталонных элементов a, b, c, d в 3-мерном пространстве, получим новые значения декартовых координат точки i, а также значения координат другой произвольной точки k, однако, очевидно, квадрат расстояния $l_{ik}^2 = a_{ik}$ при этом не изменится. Все возможные изменения эталонных элементов в рамках выделенного пространственного сечения генерируют группу координатных преобразований в 3-мерном пространстве, оставляющую инвариантной квадратичную форму $l_{ik}^2 = \mathrm{Const}$.

Более общие изменения четырех эталонных элементов a, b, c, d, выводящие за пределы заданного выше 3-мерного пространственного сечения, генерируют 10-параметрическую группу Пуанкаре.

11.4. Второй закон Ньютона

Унарные физические структуры соответствуют геометриям с симметриями, т. е. геометриям Минковского, Евклида, Лобачевского и т. д., кото-

рые сами по себе еще не описывают физические взаимодействия. Чтобы это сделать необходимо ввести в теорию дополнительные положения, учитывающие пока не задействованную категорию полей переносчиков взаимодействий. Более того, это нужно сделать в русле реляционной идеологии, не нарушающей характер данного подхода. Следует констатировать, что в группе Ю. И. Кулакова в общем случае эту задачу решить не удалось: была лишь найдена реляционная переформулировка второго закона Ньютона, однако решение этой задачи, казалось бы, далекой от актуальных проблем теоретической физики, позволило сделать замечательное открытие.

Напомним, что со времен Ньютона идет дискуссия о сути понятий, фигурирующих в его законах; особенно много споров вызывают определения массы и силы. Например, А. Пуанкаре рассматривал второй закон Ньютона как определение силы, но при этом замечал, что такого определения «еще недостаточно, так как мы не знаем, что такое масса; у нас нет иного выхода, кроме следующего определения, которое является признанием нашего бессилия: массы суть коэффициенты, которые удобно ввести в вычисления» [95]. Об этом же писал Э. Мах: «Относительно понятия массы мы прежде всего заметим, что формулировка его, данная Ньютоном, а именно, что масса есть количество материи тела, определяющееся произведением его объема на плотность, неудачна» [80, с. 165].

Дискуссии о смысле отдельных слагаемых во втором законе Ньютона продолжались в течение всего XX века. Так, уже на рубеже XX и XXI веков В. Д. Захаров пишет: «Возьмите основное уравнение ньютоновой динамики: масса тела, умноженная на его ускорение, равна действующей силе. В этом «законе» все непонятно, ибо ничто в нем не определено. Неизвестно, относительно чего измеряются ускорения (не говоря уж о способе измерения «абсолютного» времени). Не определено понятие массы: не зная, как определить свойство инертности, мы не можем знать, что такое есть мера инертности... А что такое сила? Не знаем. Ни Ньютон, ни кто-либо иной после него не объяснили нам этого. Определять силу как причину изменения движения тела — значит не определить ее никак. Это определение бесплодно: оно не дает возможности ни вычислять силу (независимо от массы и ускорения), ни измерять ее» [48].

Захаров объясняет причину этого обстоятельства тем, что и масса, и сила являются метафизическими понятиями. К этому нужно еще добавить, что сам второй закон Ньютона имеет метафизический характер, связывая воедино характеристики трех физических (точнее, метафизических) категорий в триалистической парадигме: пространства-времени

(ускорение), частиц (масса) и полей переносчиков взаимодействий (силу). Эти характеристики имеют смысл лишь в неразрывном единстве, подобно тому, как един мир, расщепляемый разумом на три физические категории.

Э. Мах, являвшийся сторонником реляционного подхода, с позиции своей парадигмы утверждал, что в механике определяющую роль играют не массы и силы, а ускорения тел: «Мы видим, что как те массы, которые, согласно обычному выражению, действуют друг на друга, так и те, которые друг на друга не действуют, находятся в совершенно однородных друг к другу отношениях ускорения, и именно можно считать, что все массы находятся в связи друг с другом. То, что в отношениях масс ускорения их играют выдающуюся роль, мы должны принять как факт опыта» [80, с. 200].

Фактически именно эту мысль Маха о ключевом характере ускорения во втором законе Ньютона Кулаков довел до логического завершения, одновременно придав ньютоновской динамике реляционную форму. Для этого он предложил рассматривать два множества элементов, первое из которых составляют тела (их будем нумеровать латинскими буквами), а второе — образуют все возможные силы F_α, ускоряющие тела (ускорители), которые будем нумеровать греческими индексами. Постулируется, что между любым телом i и любым ускорителем α имеет место отношение, имеющее физический смысл ускорения $a_{i\alpha}$.

Оказывается, общеизвестное выражение **второго закона Ньютона**

$$m\vec{a} = \vec{F} \tag{11.4.1}$$

можно записать в иной, реляционной форме, содержащей лишь отношения между телами и ускорителями. Чтобы это сделать, ограничимся одномерным случаем и запишем (11.4.1) в скалярной форме для некоторого тела с номером i, ускоряющегося под действием конкретной силы F_α:

$$m_i a_{i\alpha} = F_\alpha. \tag{11.4.2}$$

Выберем две произвольные массы m_i и m_k и две произвольные силы F_α и F_β и запишем 4 уравнения Ньютона для всех комбинаций из этих двух масс и сил:

$$\begin{aligned} m_i a_{i\alpha} &= F_\alpha; \quad m_k a_{k\alpha} = F_\alpha; \\ m_i a_{i\beta} &= F_\beta; \quad m_k a_{k\beta} = F_\beta. \end{aligned} \tag{11.4.3}$$

Вычитая в каждой строке одно уравнение из другого и затем исключая массы из оставшихся двух выражений, приходим к искомому выражению:

$$a_{i\alpha}a_{k\beta} - a_{i\beta}a_{k\alpha} = 0 \rightarrow \begin{vmatrix} a_{i\alpha} & a_{i\beta} \\ a_{k\alpha} & a_{k\beta} \end{vmatrix} = 0. \qquad (11.4.4)$$

Очевидно, что *полученное соотношение обладает фундаментальной симметрией*, т. е. оно справедливо для любого набора из двух масс m_i и m_k и любого набора из двух ускорителей (сил) F_α и F_β. Это позволяет взглянуть на него с позиций выше рассматриваемой теории структур (систем отношений), только теперь уже речь идет о структуре не на одном, а на двух множествах элементов. Соотношение (11.4.4) следует понимать как *закон бинарной структуры*. Поскольку последний записывается для пар элементов в каждом из этих множеств, то *рангом закона следует считать совокупность из двух чисел* (2,2).

Легко убедиться, что второй закон Ньютона в реляционной форме (11.4.4) будет тождественно выполняться, если парное отношение $a_{i\alpha}$ представить в виде произведения двух слагаемых:

$$a_{i\alpha} = \psi(i)\phi(\alpha), \qquad (11.4.5)$$

где $\psi(i)$ — некоторая характеристика (параметр), сопоставленная с каждым элементом первого множества (телами), а $\phi(\alpha)$ — параметр, сопоставляемый с каждым элементом второго множества (силами). Далее остается только переобозначить эти параметры, исходя из общепринятых наименований:

$$\psi(i) \equiv \frac{1}{m_i}; \quad \phi(\alpha) \equiv F_\alpha \rightarrow a_{i\alpha} = \frac{F_\alpha}{m_i}, \qquad (11.4.6)$$

т. е. исходя из реляционной записи (11.4.4), как первичного закона, можно прийти к известной форме второго закона Ньютона (11.4.2).

Реляционный подход позволяет пролить свет и на суть уже упоминавшейся дискуссии о смысле понятий массы и силы в традиционном подходе к классической механике. С точки зрения теории бинарных структур, массы и силы имеют характер лишь параметров (своеобразных координат) элементов двух множеств. Так, или примерно так, Ю. И. Кулаковым был открыт первый пример бинарной физической структуры.

Потом было замечено, что с помощью бинарных структур можно переинтерпретировать и некоторые другие законы физики, имеющие фор-

му, аналогичную второму закону Ньютона. Таковым является **закон Ома** для электрических цепей в электродинамике:

$$RI = U, \tag{11.4.7}$$

где R — сопротивление цепи, I — электрический ток в цепи, а U — напряжение в электрической цепи. Только в данном случае следует придать иной смысл элементам двух множеств бинарной структуры ранга (2,2). В качестве элементов первого множества будет выступать совокупность электрических цепей (с сопротивлениями R_i), а в качестве элементов второго множества — приложенные к цепи внешние напряжения (источники тока) U_α. Тогда в качестве отношения между нагрузкой R_i и напряжением U_α выступает значение текущего в цепи тока $I_{i\alpha}$:

$$R_i I_{i\alpha} = U_\alpha. \tag{11.4.8}$$

Очевидно, что закон Ома, как и второй закон Ньютона, можно переписать в виде закона бинарной структуры ранга (2,2):

$$\begin{vmatrix} I_{i\alpha} & I_{i\beta} \\ I_{r\alpha} & I_{k\beta} \end{vmatrix} = 0, \tag{11.4.9}$$

справедливого для любых двух цепей и двух источников напряжения.

После этих результатов встал вопрос о возможности представления и других физических законов в реляционном виде, причем уже иного ранга. Было найдено несколько таких примеров, в частности, оказалось, что реляционным образом можно переписать **закон Ома для замкнутой цепи**, характеризуемой внешним сопротивлением R, источником э.д.с. E и внутренним сопротивлением источника r. Только для этой цели нужно использовать бинарную структуру более высокого ранга (3,2). Два множества элементов бинарной структуры имеют тот же смысл, что и в предыдущем пункте, однако теперь элементы второго множества характеризуются двумя параметрами E_α и r_α. Этот случай можно описать законом вида:

$$\begin{vmatrix} 1 & \tilde{I}_{i\alpha} & \tilde{I}_{i\beta} \\ 1 & \tilde{I}_{k\alpha} & \tilde{I}_{k\beta} \\ 1 & \tilde{I}_{j\alpha} & \tilde{I}_{j\beta} \end{vmatrix} = 0, \tag{11.4.10}$$

где присутствуют отношения между тремя возможными внешними сопротивлениями и двумя источниками напряжения.

Легко убедиться, что если парное отношение $\tilde{I}_{i\alpha}$ представить в виде

$$\tilde{I}_{i\alpha} = \psi_1(i)\phi_1(\alpha) + \phi_2(\alpha), \tag{11.4.11}$$

то закон (11.4.10) будет выполняться тождественно. Полагая в этой формуле

$$\tilde{I}_{i\alpha} = \frac{1}{I_{i\alpha}}; \quad \psi_1(i) = R_i; \quad \phi_1(\alpha) = \frac{1}{E_\alpha}; \quad \phi_2(\alpha) = \frac{r_\alpha}{E_\alpha}, \tag{11.4.12}$$

приходим к известной формуле для тока в замкнутой цепи

$$I_{i\alpha} = \frac{1}{\tilde{I}_{i\alpha}} = \frac{1}{\psi_1(i)\phi_1(\alpha) + \phi_2(\alpha)} = \frac{E_\alpha}{R_i + r_\alpha}. \tag{11.4.13}$$

11.5. Бинарные системы отношений

Ю. И. Кулаковым было сделано замечательное открытие, сравнимое по значению с открытием спиноров. Он показал, что действуя точно по тем же правилам, как и в теории унарных физических структур (на одном множестве элементов), можно построить содержательную теорию на двух множествах элементов[1], которую естественно назвать *теорией бинарных физических структур*.

Кратко поясним, что собой представляет теория бинарных систем отношений в наиболее общем виде. Постулируется, что имеется два множества каких-то элементов. Обозначив первое множество символом $\mathcal{M}$, а второе — $\mathcal{N}$, будем записывать элементы первого множества латинскими буквами $(i, j, k, ...)$, а элементы второго множества — греческими $(\alpha, \beta, \gamma, \dots)$. Между любой парой элементов из разных множеств зададим парное отношение — некоторое вещественное или комплексное число $u_{i\alpha}$ (см. рис. 11.4). Как и в случае унарных структур, полагается, что имеется некий *алгебраический закон*, связывающий все возможные отношения между любыми r элементами множества $\mathcal{M}$ и s элементами множества $\mathcal{N}$:

$$\Phi_{(r,s)}(u_{i\alpha}, u_{i\beta}, \dots, u_{k\gamma}) = 0. \tag{11.5.1}$$

Целые числа r и s характеризуют ранг (r, s) бинарной структуры (системы отношений). Очевидно, что функция $\Phi_{(r,s)}$ в (11.5.1) теперь зависит от $r \times s$ аргументов.

Как и в случае унарных систем отношений, используется *принцип фундаментальной симметрии*, т. е. полагается, что закон (11.5.1) будет

[1] Интересно заметить, что Кулаков сначала построил именно теорию простейшей бинарной структуры (бинарной системы отношений) ранга (2,2) и только потом осознал, что можно перейти к унарным структурам и рассматривать с их помощью геометрию.

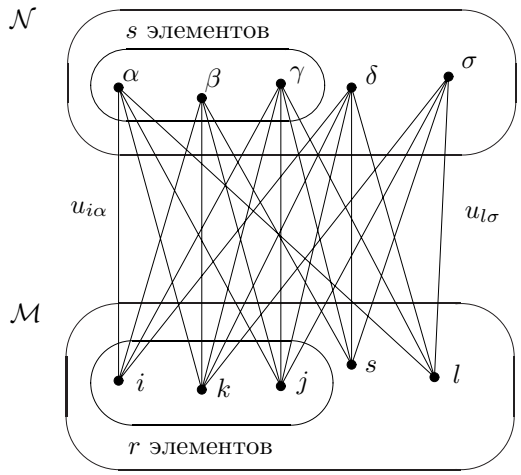

Рис. 11.4. Бинарная система отношений (структура) ранга (r, s)

справедлив при замене элементов $i, j, \ldots$ и $\alpha, \beta, \ldots$ на любые другие элементы соответствующих множеств. Фундаментальная симметрия позволяет записать функционально-дифференциальные уравнения и из них найти вид как парных отношений $u_{i\alpha}$, так и саму функцию $\Phi_{(r,s)}(u_{i\alpha}, \ldots)$.

В этой теории возникают аналоги понятий координат в геометрии, которые имеют тот же характер, что и в теории унарных систем отношений. Чтобы к ним прийти, опять в законе (11.5.1) нужно положить $r-1$ элементов множества $\mathfrak{M}$ и $s-1$ элементов множества $\mathfrak{N}$ *эталонными*. Тогда на этот закон можно смотреть как на соотношение, определяющее парное отношение между двумя оставшимися неэталонными элементами (пусть это будут элементы i и α) через их отношения к эталонным элементам. Отношения же между самими эталонными элементами можно считать раз и навсегда заданными. Тогда оказывается, что парное отношение $u_{i\alpha}$ характеризуется $s-1$ параметрами (координатами) элемента i (его отношениями к $s-1$ эталонным элементам множества $\mathfrak{N}$) и $r-1$ параметрами элемента α.

Ю. И. Кулаковым была поставлена задача нахождения всех возможных бинарных структур (бинарных систем отношений), исходя из найденного им примера — бинарной структуры ранга (2.2). Для случая вещественных отношений эта задача в самом общем виде была решена его учеником Г. Г. Михайличенко. Отвлекаясь от всех математических деталей, охарактеризуем полученный результат. Оказалось, существуют бинарные системы вещественных отношений (БСВО) не всех мыслимых рангов (r, s), а только трех типов рангов, изображенных на ри-

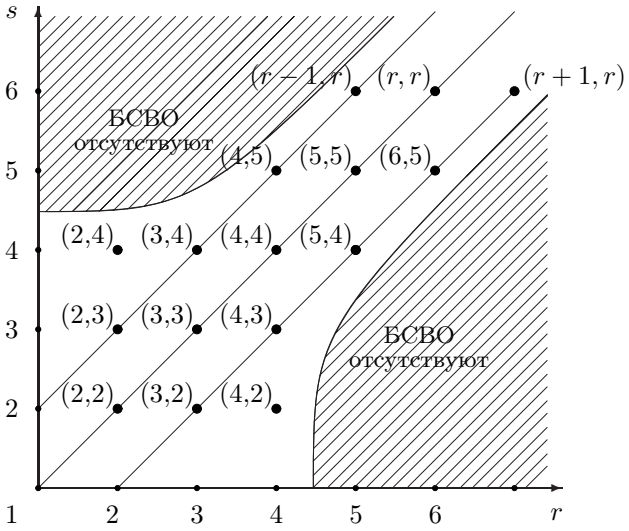

Рис. 11.5. Существующие бинарные системы вещественных отношений

сунке 11.5, где по вертикальной оси отложены значения s, а по горизонтальной оси — r. Как видно из рисунка, существуют следующие БСВО:

1) на главной диагонали БСВО рангов (r, r), где $r \geq 2$;
2) на двух побочных диагоналях БСВО рангов $(r \pm 1, r)$;
3) исключительная БСВО ранга (4,2) и эквивалентная ей БСВО ранга (2,4).

Г. Г. Михайличенко нашел все возможные виды законов для систем отношений названных рангов. Подчеркнем, что в отличие от случая унарных структур для бинарных систем отношений, эта задача решается в общем виде. В частности, было показано, что для систем отношений симметричных рангов имеется два и только два вида решений. Для одного вида закон представляется в виде

$$\Phi_{(r,r)}(u_{i\alpha}, u_{i\beta}, \ldots) = \begin{vmatrix} u_{i\alpha} & u_{i\beta} & \cdots & u_{i\gamma} \\ u_{k\alpha} & u_{k\beta} & \cdots & u_{k\gamma} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ u_{j\alpha} & u_{j\beta} & \cdots & u_{j\gamma} \end{vmatrix} = 0, \qquad (11.5.2)$$

где парное отношение представляется в форме

$$u_{ik} = \sum_{l=1}^{r-1} i^l \alpha^l. \qquad (11.5.3)$$

Здесь $i^1, i^2, \cdots, i^{r-1} - r-1$ параметров элемента i, а $\alpha^1, \alpha^2, \cdots, \alpha^{r-1} - r-1$ параметров элемента α. Этот случай можно считать общим; оставим для него прежнее обозначение ранга (r, r).

Второе решение соответствует закону

$$\tilde{\Phi}_{(r,r:a)}(a_{i\alpha}, a_{i\beta}, \cdots) = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & \cdots & 1 \\ 1 & a_{i\alpha} & a_{i\beta} & \cdots & a_{i\gamma} \\ 1 & a_{k\alpha} & a_{k\beta} & \cdots & a_{k\gamma} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 1 & a_{j\alpha} & a_{j\beta} & \cdots & a_{j\gamma} \end{vmatrix} = 0, \qquad (11.5.4)$$

где парное отношение a_{ik} представляется в форме

$$a_{ik} = \sum_{l=1}^{r-2} i^l \alpha^l + i^{r-1} + \alpha^{r-1}. \qquad (11.5.5)$$

Здесь опять присутствуют по $r-1$ параметров каждого из двух элементов, однако по одному из параметров оказываются выделенными. Для этого случая ранг будем обозначать символом $(r, r;)$.

В работах В. Х. Льва, ученика Ю. И. Кулакова, было показано, что бинарные системы отношений ранга (r,r;a) можно понимать как своего рода *вырожденные* бинарные системы отношений более высокого ранга.

Очевидно, что описанные в предыдущем параграфе две бинарные физические структуры соответствуют данной здесь общей теории бинарных структур.

11.6. Программа структуризации физики

Опираясь на полученные результаты, Ю. И. Кулаков утверждает, что всю физику можно переформулировать в реляционном духе, т. е. переписать ее законы через унарные и бинарные структуры соответствующих рангов. В какой-то степени это удалось осуществить для нерелятивистской механики Ньютона, где выделяется два поколения структур [67]. Первое поколение составляют физические структуры, определяющие 3-мерные пространственные отношений (3-мерную эвклидову геометрию) и одномерное время (между событиями). Второе поколение составляют бинарные структуры, с помощью которых описываются взаимодействия (ньютоновские силы), т. е. фактически вводится третья физическая категория (полей). Остановимся более подробно на некоторых важных аспектах этих двух поколений структур в отдельности.

Первое поколение структур при описании ньютоновой (нерелятивистской) физики составляют две унарные структуры: ранга (3) для

описания одномерного времени и ранга (5) для описания 3-мерной евклидовой геометрии. В программе Кулакова структуризации физики они определяют фундамент всего здания (нерелятивистской) физической теории.

В каждой структуре предполагается система эталонных элементов, которые не только определяют параметры всех элементов, но и задают физическую размерность (сантиметры, секунды, граммы) этих параметров. Каждой структуре соответствует одна физическая размерность. Поскольку в теории Кулакова описывается нерелятивистский мир, где отдельно вводится пространство и отдельно время, то это означает введение в теорию двух размерных величин. Унарная структура ранга (5) вводит размерность длины (сантиметр — [см]), а унарная структура ранга (3) обеспечивает вторую размерность — для времени (пусть это будет секунда — [сек]). Таким образом, в первом поколении ньютоновой физики возникают две физические размерности: [см] и [сек].

На основе структур первого поколения определяются величины, производные от двух первичных (длин и времени). Деля расстояние между двумя близкими событиями (отношение по унарной структуре ранга (5)) на промежуток времени между этими же событиями (на отношение унарной структуры ранга (3)), получаем *скорость* с размерностью [см/сек]. Из отношений между тремя близкими событиями можно получить понятие *ускорения* с физической размерностью [см/сек^2]. Кроме этих величин, на основе структур первого поколения можно получить понятия *углов, площади [см^2], объема [см^3]*.

Рассуждения Кулакова о размерности можно обобщить и на случай релятивистской физики, учитывающей закономерности специальной теории относительности. В этом случае достаточно опереться на одну унарную структуру ранга (6). Отсюда следует только одна физическая размерность длины [см]. Вторая размерность (секунды) появляется в результате процедуры $1+3$-расщепления, когда вводится понятие времени и пространственного сечения выделенной системы отсчета. Эта процедура расщепляет исходную унарную систему отношений ранга (6) на две унарные структуры рангов (3) и (5). Напомним, что в релятивистской физике скорость света c имеет размерность [см/сек] и имеет смысл лишь коэффициента между практически используемыми единицами длины и времени.

Второе поколение структур в ньютоновской физике составляет бинарная структура ранга (2,2), позволяющая записать второй закон Ньютона. Для формулировки этой бинарной физической структуры необходимо понятие, введенное в рамках величин первого поколения, — ускоре-

ние, играющее роль отношения между элементами двух множеств элементов: ускоряемых тел и ускорителей (сил). В бинарной структуре после установления закона необходимо ввести размерность индивидуальных характеристик двух множеств элементов: ускоряемых тел (m) и ускорителей (F). Поскольку каждой новой структуре соответствует одна физическая размерность, то здесь в качестве таковой выступает исторически выбранная характеристика массы — грамм [г], тогда как характеристика силы получает размерность [г·см/сек^2], диктуемую размерностями двух других величин в (11.4.1).

Из первичных величин структур двух поколений строится множество производных величин второго поколения: импульс [г·см/сек], момент импульса [г·см^2/сек], плотности [г/см^3], энергия [г·см^2/сек^2] и так далее.

Программа Кулакова нацелена на стуктуризацию всей физики, а не только механики Ньютона. Предложено описание термодинамики в терминах структур, обсуждался вопрос о записи в терминах структур электродинамики и так далее. Все эти задачи Ю.И.Кулаков предлагает решать с помощью третьего поколения структур, которые, вообще говоря, должны приводить к появлению новых физических размерностей.

11.7. Теория физических структур и метафизика

При проведении метафизического анализа теории физических структур необходимо отдельно рассмотреть философско-религиозную парадигму, которой придерживается Ю. И. Кулаков (автор теории структур), унарные и бинарные структуры.

Философско-религиозная парадигма. Ю. И. Кулаков придает теории физических структур своеобразную философскую интерпретацию в духе учения Платона, полагая, что структуры описывают платоновский мир идей (мир высшей реальности), существующий независимо от материального фактора (частиц, полей), принадлежащих низшему миру материальной реальности (дольней физике). В таком понимании мироздания законы физики следует воспринимать описывающими лишь проекции, тени от мира высшей реальности. Для выражения этой мысли Кулаков предложил наглядный образ пещеры с астральным костром, возле которого танцует женщина, олицетворяющая мир высшей реальности, а сидящий спиной к огню физик пытается составить представление о танцующей женщине по ее тени на стенах пещеры.

Однако, как нам представляется, математический аппарат теории физических структур больше соответствует учению не Платона, а Аристотеля. Напомним, Платон связывал числа с телами и считал, что под-

лежат изучению только такие объекты, которым можно поставить в соответствие число. Аристотель же сопоставлял числа не непосредственно с объектами, а ими характеризовал отношения между объектами нечисловой природы. Именно такой характер имеют элементы одного или двух множеств теории физических структур, где числами описываются лишь отношения между элементами. Таким образом, у Кулакова получился некий синтез учений Платона и Аристотеля.

В системе мироздания Кулакова использована дуалистическая философско-религиозная парадигма, опирающаяся на два начала: идеальное («горний мир») и материальное («дольний мир») с доминирующей ролью идеального начала. Более подробно философско-религиозные парадигмы рассмотрены в главе 14. Здесь же подчеркнем, что идеалистическая платоновская доминанта существенно повлияла на характер исследований Кулакова и его группы. Согласно принятой философской парадигме, мир высшей реальности, использованный Творцом для материализации высших идей, представляет собой совокупность возможных физических структур, как унарных, так и бинарных, всех возможных рангов. Задача физиков видится лишь в выражении (переформулировке) законов материального («дольнего») мира, как уже открытых, так и еще не открытых, через одну из возможных структур. Как пишет Ю. И. Кулаков: «Теория физических структур представляет собой попытку «бурбакизации» физики, пересмотра ее оснований с единой точки зрения, в основу которой вместо нескольких полуинтуитивных образов: частица, поле, пространство, время положено одно единственное понятие — физическая структура» [67, с. 61]. К этому добавим, что под термином «физическая структура» понимаются структуры всех возможных рангов.

В этом подходе физические структуры имеют высший, метафизический характер, составляющий суть идеального начала и одновременно суть всех законов материального (физического) мира. Очевидно, что этот подход существенно отличается от аристотелевского, в котором, наоборот, идеальные понятия являются вторичными, возникающими в виде абстракций свойств объектов физического мира.

Будем придерживаться аристотелевского подхода и рассматривать метафизику материального («дольнего») мира. С позиций излагаемой в книге метафизики, следует разделить роли унарных и бинарных структур.

Унарные физические структуры. Целью данной книги является переход от промежуточных дуалистических парадигм в физике XX века к монистической парадигме, опирающейся на единую обобщенную

категорию, где отсутствуют «полуинтуитивные образы» частиц, полей, пространства и времени. По целевой направленности программы Кулакова и нашей совпадают. Совпадает также и идея опереться на понятие структуры (системы отношений), однако характер развиваемых программ принципиально различный.

Теория унарных структур Кулакова дает возможность перейти от триалистической парадигмы к дуалистической, где согласно реляционному видению удается избавиться отдельно от «полуинтуитивных образов» частиц и пространства-времени и заменить их обобщенной категорией унарной структуры ранга (6). Однако для этого, прежде всего, следует придать множеству элементов унарной структуры ранга (6) дискретный характер, соответствующий множеству физических событий, как в теории прямого межчастичного взаимодействия. (В реальном мире события не соответствуют всем точкам пространственно-временного континуума.)

Далее в основание теории необходимо ввести ряд дополнительных постулатов, в частности, позволяющих выделить из всех возможных сигнатур 4-мерной теории наблюдаемую сигнатуру $(+---)$.

Но самое существенное состоит в том, что в теорию так или иначе необходимо внести «полуинтуитивный образ» полей переносчиков взаимодействий. Кулаков это понимает и в ряде работ и выступлений предлагает дополнить теорию физических структур методами калибровочной теории поля или расслоенных пространств — посредством введение инородных к структурам понятий, что нарушает логическую стройность теории.

Наиболее важным шагом в направлении решения этой задачи была запись второго закона Ньютона при помощи бинарной физической структуры. Однако при данной интерпретации элементов этой структуры не видно путей перехода к реалистическим теориям физических взаимодействий.

В рамках использованной платоновской идеологии не видно также путей для включения в программу структуризации физики закономерностей квантовой теории.

Бинарные физические структуры. Главная заслуга Ю. И. Кулакова и его группы состоит в открытии бинарных физических структур, которые приводят к **ряду далеко идущих следствий, в том числе и метафизического характера**. Назовем некоторые из них.

1) Теория бинарных систем отношений строится по образу и подобию теории унарных систем отношений, соответствующих, как это было показано, геометриям. Следовательно, найденные в группе Кулакова

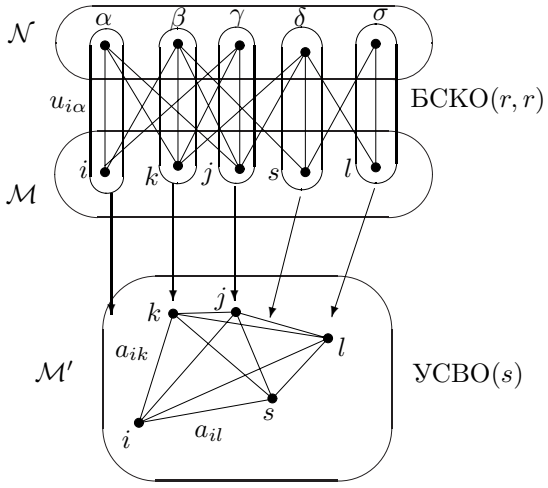

Рис. 11.6. Переход от бинарных систем отношений к унарным системам отношений

бинарные физические структуры (бинарные системы отношений) можно трактовать как новый класс *бинарных геометрий*, в которых можно ввести аналоги многих известных геометрических понятий, например, объемов, площадей и т. д.

2) В исследованиях группы Кулакова было доказано, что *отсутствуют нетривиальные содержательные теории тернарных, тетрадных и т. д. систем отношений*. Следовательно, природа ограничилась случаями бинарных и унарных структур (систем отношений), причем теория бинарных систем отношений оказалась значительно проще теории унарных структур. Это уже относится к сфере метафизики.

3) *Унарные системы отношений можно получить из бинарных систем отношений* специальной «склейкой» элементов из двух множеств в новые элементы уже одного множества, причем отношения между ними строятся из первичных бинарных отношений. Это пояснено на рисунке 11.6. Как говорил в своих выступлениях Ю. И. Кулаков, элементы одного множества унарной структуры можно считать «серыми», склеенными из «черных» и «белых» элементов двух множеств бинарной структуры.

Следовательно, есть все основания полагать, что *бинарные системы отношений тесно связаны с метафизикой, описывают более глубокие основы мироздания, нежели общепринятые (унарные) геометрии.*

4) Геометризация основных понятий физики и разработка объединенных моделей известных видов физических взаимодействий производятся

на основе обычной, т. е. унарной геометрии. Поскольку существуют более элементарные бинарные геометрические конструкции, то, естественно, возникает мысль — *положить в основу программы геометризации физики именно бинарные системы отношений*. Так и будет сделано в бинарной геометрофизике.

Однако следует констатировать, что идеология Платона не позволила Кулакову на основе этих и ряда других факторов внимательнее взглянуть на учение Аристотеля и попытаться иначе интерпретировать бинарные физические структуры. А это дало бы возможность на их основе описать закономерности квантовой теории и далее перейти к физике микромира, что будет сделано в следующих двух главах.

В пользу такого шага говорит и следующее обстоятельство. Уже неоднократно отмечалось своеобразное извлечение «квадратных корней» из привычных классических величин и соотношений. Прежде всего, следует назвать спиноры как «квадратные корни из векторов». Аналогичным примером является введение амплитуд вероятности в квантовой механике «как квадратных корней из классической вероятности». В общей теории относительности при описании спинорных частиц важную роль играют тетрады, которые также можно рассматривать как своеобразные «квадратные корни из компонент метрического тензора». Примечательно, что все названные примеры так или иначе связаны с квантовой теорией. Открытие бинарных геометрий следует поставить в один ряд с названными примерами, т. е. *бинарную геометрию можно назвать «корнем квадратным из обычной унарной геометрии»*, в том смысле, что, «склеивая» два множества элементов бинарной структуры, получаем одно множество точек обычной геометрии.

Глава 12

Бинарная геометрофизика

Рассмотренные выше три миропонимания позволяют разглядеть более элементарные понятия и закономерности, определяющие структуру физического мироздания, — увидеть триединую первооснову мира, о которой шла речь в философской системе Аристотеля, и найти для нее адекватное математическое описание. В принятых здесь наглядных образах это означает выход на монистическую парадигму, изображенную вверху китайской системы триграмм на рисунке 1.2, или проникновение внутрь куба физической реальности на рисунке 12.1. Все три миропонимания важны, однако определяющим является реляционное, что отображено на рисунке несколькими стрелками. Фактически это третий путь, позволяющий объединить принципы геометрического и физического миропониманий. Символом $R_\mu(\mu)$ обозначена бинарная геометрофизика, охарактеризованная в этой главе. Ее можно трактовать также как предгеометрию, о необходимости которой говорили Дж.Уилер и другие авторы.

Для построения физической теории в рамках монистической парадигмы, отражающей аристотелевское триединство, оказался необходимым математический аппарат бинарных физических структур со следующей интерпретацией: два множества элементов бинарной структуры соответствуют двум противоположностям Платона или двум сторонам возможности у Аристотеля, а отношения между элементами двух множеств — третьей стороне в философии Аристотеля, связывающей две противоположности в возможности, и характеризуют переход к действительности. Как уже указывалось в первой части книги, черты такой теории вырисовываются уже в рамках существующей квантовой теории, однако недостовало нужного принципа, налагаемого на элементы S-матрицы. В бинарной геометрофизике таковым является принцип фундаментальной симметрии, заменяющий прежние принципы релятивистской инвариантности, причинности, аналитичности и иные.

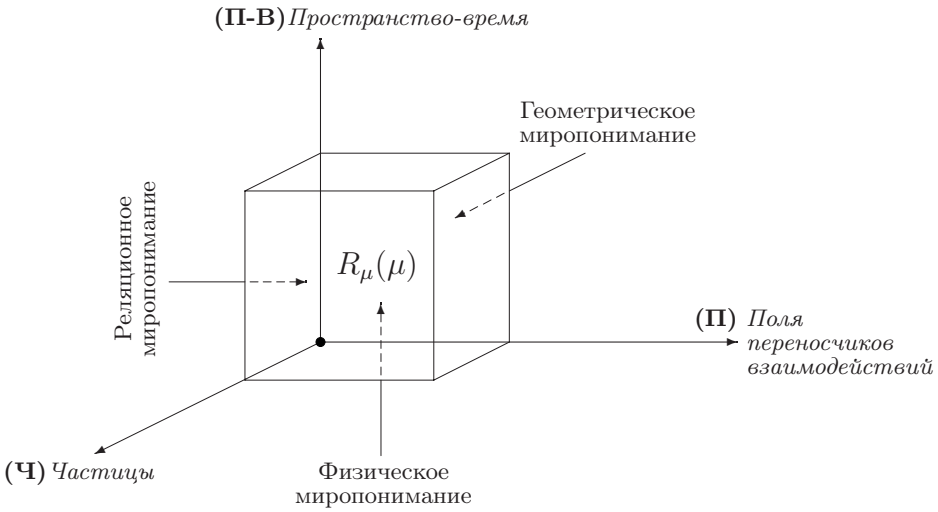

Рис. 12.1. Бинарная геометрофизика как предгеометрия

Чтобы развить бинарную геометрофизику, предназначенную, прежде всего, для описания закономерностей микромира, оказалось необходимым обобщить математический аппарат бинарных физических структур по двум направлениям: во-первых, его комплексифицировать, т. е. перейти от вещественных к комплексным отношениям, так как закономерности микромира описываются комлексными величинами, и, во-вторых, следовало его переработать в духе систем отсчета в теории относительности. В таком виде бинарные структуры были названы бинарными системами комплексных отношений.

В данном подходе отсутствует априорно заданное классическое пространство, нет также полей, — им в принципе не по чему распространяться. По этой причине при построении бинарной геометрофизики можно было опереться лишь на реляционный подход, т. е. на концепцию дальнодействия. Понятия же классического пространства-времени предлагается получить как вторичные, производные понятия после перехода к достаточно большим системам из элементарных частиц (к макрообъектам).

12.1. Характер бинарной геометрофизики

Проанализируем с самых общих позиций контуры искомой теории микромира (бинарной геометрофизики как предгеометрии) и обсудим, как она соотносится с имеющимися физическими теориями. Для этого,

прежде всего, отметим, что в любой физической теории единый мир расщепляется на три взимосвязанные части (редукционизм по сущности категории частиц, — см. разд. 4.2): рассматриваемый объект, субъект, относительно которого рассматривается объект, и весь остальной окружающий мир.

1. В качестве *субъекта* в физических теориях выступает тело отсчета, на базе которого определяется система отсчета.
2. *Окружающий мир* неявно входит в любую теорию, однако широко распространена иллюзия, что можно от него отвлечься и рассматривать явления локально, учитывая лишь обстановку в непосредственной близости. Идея учета всего окружающего мира обычно ассоциируется с принципом Маха.
3. Рассматриваемые в теории *объекты* могут быть как отдельными элементарными частицами, так и достаточно сложными макрообъектами. Из принципа предельного монизма следует, что наиболее глубокие свойства мироздания проявляются при рассмотрении взаимодействий простейших элементарных частиц.

Разделы физики (теории) принято различать в зависимости от масштаба (сложности) рассматриваемых в них объектов: в классической физике (механике) рассматриваются *макрообъекты*, в квантовой механике и физике микромира описывается поведение *микрочастиц*. Исходя из этого, все теории можно разделить на два класса — на имеющие дело с макрообъектами (обозначим их латинской буквой m) и на описывающие микрообъекты (обозначим их греческой буквой μ). Физическим теориям присвоим коренной символ R, тогда два названных класса теорий можно обозначать символами $R(m)$ и $R(\mu)$.

Эти два класса теорий существенно отличаются друг от друга, но их роднит общее, — в них чрезвычайно важную роль играет понятие *системы отсчета*. В нерелятивистской механике имеет место принцип относительности Галилея, основу релятивистской механики составляет специальная теория относительности. В общей теории относительности оказалось необходимым развить специальные методы описания систем отсчета. Современная квантовая теория сформулирована в релятивистски инвариантном виде. Как уже отмечалось, в квантовой теории в понятие системы отсчета необходимо включить нечто большее. Имеется тесная аналогия между системами отсчета в теории относительности и макроприбором в квантовой механике. В современной квантовой механике и физике микромира всегда подразумевается, что описание микрообъектов производится относительно макроприбора. Даже тогда, ко-

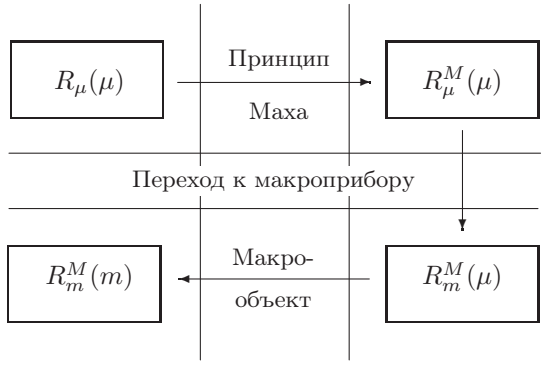

Рис. 12.2. Соотношение бинарной геометрофизики и существующих теорий

гда в квантовой теории описывается взаимодействие микрочастиц друг с другом, всегда подразумевается существование макрообъектов, — микрообъекты описываются терминами отношений микрообъектов к макрообъектам. Подчеркнем это обстоятельство тем, что во введенном выше символическом обозначении теории снизу запишем символ макрообъекта m. Тогда классическую физику (первый класс теорий) следует обозначать символом $R_m(m)$, а второй класс теорий, описывающих микрочастицы, — символом $R_m(\mu)$.

В теории микромира, опирающейся на самостоятельную систему понятий и представлений, каковой является обсуждаемая в этой главе бинарная геометрофизика, противоестественно оставлять чуждое ей понятие макроприбора. Следует предположить, что в такой теории микрообъекты должны рассматриваться относительно также микрообъектов. Это означает, что в бинарной геометрофизике должен быть микроаналог понятия классической системы отсчета, а сама теория должна обозначаться символом $R_\mu(\mu)$, что и нашло свое отражение на рисунке 12.1.

Для получения из бинарной геометрофизики известных теорий трех миропониманий необходимо будет учесть весь окружающий мир, который обозначим символом M, введя его в верхний правый угол обозначения теории R. Так, квантовая теория должна обозначаться символом $R^M_m(\mu)$. Классическую механику тогда нужно будет обозначить символом $R^M_m(m)$.

Соотношение названных теорий пояснено на блок-схеме рисунка 12.2. Стрелками обозначены переходы от самого элементарного уровня описания физики микромира в рамках бинарной геометрофизики $R_\mu(\mu)$ к квантовой теории и классической механике. Эти переходы будут охарак-

теризованы в следующей главе 13. Здесь же ограничимся обсуждением лишь самого элементарного уровня $R_\mu(\mu)$.

Характер элементарного уровня бинарной геометрофизики, призванной описывать микрочастицы относительно микрочастиц, диктует отказ от многих укоренившихся представлений и иллюзий как классической, так и квантовой физики. Перечислим наиболее существенные из них:

1. *Придется отказаться от понятия непрерывной эволюции для отдельных элементарных частиц.* Это понятие тесно связано с памятью, которая возникает у достаточно сложных систем. Для отдельных элементарных частиц можно допустить лишь возможность дискретных переходов между парами состояний. В самом простом варианте это некая пара состояний. Подобная ситуация возникла уже в боровской модели атома, где постулировались переходы электронов между атомными уровнями, но ничего не говорилось о промежуточных этапах этих переходов. Впоследствии эта идея нашла свое воплощение в теории S-матрицы.

2) *В основании бинарной геометрофизики не должно быть континуума точек (элементов).* Уже теория относительности показала, что всякая физическая теория описывает лишь соотношения между событиями, происходящими с материальными объектами, а использование континуума означает добавление к реально осуществившимся событиям непрерывного множества лишних точек (событий).

В пользу этой идеи высказывался Р.Фейнман, писавший: «Теория, согласно которой пространство непрерывно, мне кажется неверной, потому что она приводит к бесконечно большим величинам и другим трудностям» [119, с. 184]. Напомним, что в свое время Эйнштейн также отмечал, что «введение пространственно-временного континуума может считаться противоестественным, если иметь в виду молекулярную структуру всего происходящего в микромире», но в то же время полагал, что отказ от пространственно-временного континуума «смахивает на попытку дышать в безвоздушном пространстве». Излагаемое далее в этой главе представляет собой именно такую попытку «дышать в безвоздушном пространстве», точнее, не совсем так, — предлагается заменить пространство-время более элементарными понятиями — комплексными отношениями.

Рядом физиков исследовались возможности построения дискретных моделей пространства-времени, но попытки использования жестких дискретных решеток успеха не имели. Главный их недостаток заключался в постулировании лишних узлов решеток, что в реальном мире не осуществляется в виде каких-то событий.

3) При отказе от континуума промежуточных точек сразу же повисает в воздухе концепция близкодействия с идеей полей переносчиков взаимодействий от одной частицы к другой. Электромагнитному и другим полям просто не по чему распространяться. Отсюда понятно, что в искомой теории (в предгеометрии) среди первичных понятий не может быть переносчиков взаимодействий. *При построении искомой теории не остается ничего иного как опереться на концепцию дальнодействия.*

4) Принцип неопределенностей Гейзенберга говорит о дополнительности геометрических и динамических свойств материи. Это свидетельствует в пользу того, что *в основание бинарной геометрофизики должно быть заложено нечто третье, из чего возникают как динамические, так и пространственно-временные (координатные) понятия*, причем ниоткуда не следует, что последние должны появляться раньше динамических характеристик, как это принято полагать в общепринятых теориях всех трех миропониманий.

12.2. Метафизика бинарной геометрофизики

Бинарная геометрофизика строится в рамках монистической метафизической парадигмы. Это означает, что среди ее исходных положений нет ключевых категорий триалистической парадигмы: классического пространства-времени, полей переносчиков взаимодействий, частиц (в привычном их понимании). Напомним, монистическая парадигма строится в рамках холистского подхода к физическому мирозданию, т. е. исходит из *единого и неделимого на части первоначала*, — в основу соответствующей ей теории должна быть положена одна обобщенная категория.

Бинарная геометрофизика опирается на самосогласованную систему собственных понятий и закономерностей, однако при ее изложении будем проводить параллели с соответствующими положениями теорий трех миропониманий, причем это будет делаться не для внесения инородных понятий, а лишь для пояснения физического смысла исходных понятий бинарной геометрофизики.

Как подчеркивалось еще в античности, единое начало не может быть безликим, — согласно учению Аристотеля оно проявляется в виде трех сторон. Из них две стороны (платоновского учения) соответствуют возможности. В элементарном звене любого процесса должны быть заложены представления о двух крайних положениях системы — о начальном и конечном состояниях, между которыми осуществляется переход.

В бинарной геометрофизике эти две стороны предлагается описывать с помощью бинарных систем отношений со следующей интерпретацией: первое множество элементов $\mathcal{M}$ описывает начальные состояния системы, а второе множество элементов $\mathcal{N}$ — конечные состояния системы. Здесь понятие состояния должно восприниматься как самое первичное (как примитив в аксиоматике), не требующее дальнейших разъяснений, за исключением того, что подчиняется определенной системе правил. (Подчеркнем, что приведенная здесь интерпретация двух множеств бинарных структур принципиально отличается от использованной в теории физических структур Кулакова.)

Данная интерпретация отвечает выводам, сделанным в главе 5 из аксиоматики квантовой теории (из физического видения мира), где также постулируются два пространства векторов состояний (векторов и со-векторов), описывающих начальные и конечные состояния квантовомеханической системы, и фактически означает использование идеи S-матрицы, однако теперь ничего не говорится об их привязке к минус- или плюс-бесконечностям.

Согласно Аристотелю, двух сторон единого в возможности недостаточно, — должна быть задана третья сторона, их связывающая и в конце концов позволяющая перейти от возможности к действительности.

В бинарной геометрофизике в качестве третьей стороны единого выступают отношения, комплексные числа, задаваемые для каждой пары элементов из двух противоположных множеств. Именно из этих чисел на некотором этапе развития теории можно будет получить то или иное классическое или квантовое понятие, характеризующее переход.

В квантовой теории аналогом парного комплексного отношения между двумя состояниями является амплитуда вероятности перехода из начального в конечное состояние, однако из фейнмановской формулировки квантовой механики (в реляционном видении мира) следует, что итоговая амплитуда вероятности является сложным выражением, получающимся в результате суммирования многих слагаемых, интерпретируемых как вклады отдельных историй-путей. По этой причине парные комплексные отношения бинарной геометрофизики правильнее уподобить фейнмановским вкладам от отдельных путей.

Комплексное число, приписываемое двум состояниям, фактически является своеобразной метрикой в пространстве возможностей. Исходя из этого можно утверждать, что бинарная геометрофизика развивается не на основе аксиом порядка, как это имеет место в аксиоматике геометрии, а на базе метрических отношений.

Аристотелю для построения физической теории не хватило постулирования лишь трех сторон единого метафизического начала, — пришлось вводить ряд дополнительных категорий и положений, которые оказались уязвимыми и привели к отказу от его учения.

В аксиоматическом подходе к квантовой теории и, в частности, в S-матричном подходе также оказалось недостаточно аксиом гильбертова пространства. В аксиоматике квантовой механики Дираку и другим авторам пришлось использовать теорию представлений (координатного или импульсного) векторных пространств и аксиомы линейных операторов. В S-матричном подходе понадобилось введение дополнительных условий, накладываемых на S-матрицу, в виде принципов релятивистской инвариантности, причинности, аналитичности и ряда других. Исследования в рамках этих программ продемонстрировали, что выбиравшиеся дополнительные положения не смогли привести к решению поставленных задач.

В бинарной геометрофизике предлагается вместо ранее использованных дополнительных положений квантовой теории *новая система принципов, естественным образом уточняющая (конкретизирующая) свойства трех сторон аристотелевского триединства* в виде постулирования, во-первых, существования закона бинарных систем комплексных отношений, во-вторых, принципа фундаментальной симметрии и, в-третьих, выбора подходящего ранга бинарной системы отношений.

Особо отметим принцип причинности, которому уделялось большое внимание при построении аксиоматик как геометрии, так и квантовой теории. В геометрии этот принцип увязывался с аксиомами частичной упорядоченности, в квантовой теории он состоял в специальных условиях, накладываемых на S-матрицу. В бинарной геометрофизике вместо условий причинности выступают принцип фундаментальной симметрии и условия перехода к макропонятиям, где проявляется всеобщая связь между всеми возможными явлениями. При этом уместно напомнить замечание Э. Маха: «Закон причинности выражает взаимную зависимость между явлениями. Особое упоминание о пространстве и времени в выражении закона причинности не нужно, ибо все отношения пространства и времени снова сводятся ко взаимной зависимости между явлениями» [80, с. 428].

В конечном счете все дополнительные положения в прежних теориях были призваны осуществить вложение принципов квантовой теории (теории возможностей) в классическое пространство-время. Последнее же следует трактовать как систему отношений между осуществивши-

мися событиями, т. е. сферой теории действительности. В бинарной геометрофизике снимается эта задача, типичная для дуалистической парадигмы, и заменяется принципиально иной — *получением (выводом) классического пространства-времени и других понятий дуалистических и триалистической парадигм из комплексных отношений бинарных структур*. Таким образом, бинарная геометрофизика нацелена, во-первых, на описание процессов в рамках внутренних понятий монистической парадигмы и, во-вторых, на разработку перехода от ее понятий к общепринятым положениям физики.

Для достижения этих целей оказались чрезвычайно важными выводы (уроки) из исследований в рамках геометрического миропонимания: общей теории относительности и многомерных геометрических моделей физических взаимодействий. Из них выделим следующие:

1. Электрический и иные заряды элементарных частиц имеют смысл дополнительных компонент многомерного импульса элементарных частиц. Это свидетельствует о том, что *в бинарной геометрофизике должен иметь место прообраз многомерия*. На основании изложенного в предыдущей главе можно утверждать, что многомерие должно проявляется в выборе ранга бинарной системы отношений.
2. Потенциалы электрического и других физических полей в многомерных геометрических моделях выступают в виде смешанных компонет метрического тензора в координатном пространстве. Это свидетельствует о том, что *в бинарной геометрофизике как понятия координатного пространства, так и полей физических взаимодействий должны быть проявлениями одной и той же сущности*. Как уже отмечалось, таковой может быть только комплексная метрика, из которой строятся амплитуды вероятностей процессов.
3. Многомерные геометрические модели демонстрируют тот факт, что исходное многообразие расщепляется на две части, описывающие внешние (классические) пространственно-временные соотношения и внутренние свойства частиц — различные изотопические пространства. Аналогичное обстоятельство следует ожидать и в рамках бинарной геометрофизики.

Наконец, отметим, что принцип суперпозиции, с которого начинается аксиоматика гильбертова пространства, также необходим для построения бинарной геометрофизики, однако, как будет показано ниже, он используется на этапе перехода к макроприбору.

12.3. Исходные понятия математического аппарата бинарной геометрофизики

Вместо вводившихся в теории S-матрицы принципов релятивистской инвариантности, симметрий, причинности, аналитичности и других предлагается использовать *закон бинарных систем отношений*, который, напомним, записывается в виде равенства нулю некой функции $\Phi_{rs}(\cdots)$, аргументами которой являются все парные отношения между r элементами первого и s элементами второго множеств (см. (11.5.2)). Оказывается, все остальное уже можно вывести, оперируя с понятиями бинарных систем отношений, конкретизируя и синтезируя некие комбинации. Как будет продемонстрировано, из них можно получить прообразы известных понятий и закономерностей в широком диапазоне физики — от теории фундаментальных физических взаимодействий (сильных и электрослабых) до классической механики. Перечислим узловые моменты математического аппарата бинарной геометрофизики.

1. Равноправие двух множеств элементов. Для построения бинарной геометрофизики *ограничимся случаем симметричных*, т. е. изображенных на главной диагонали на рисунке 11.5 *бинарных систем отношений* (рангов (r,r)). Это означает, что начальные и конечные состояния равноправны, т. е. входят в теорию симметричным образом. В некотором смысле это соответствует обратимости времени на самом элементарном уровне теории[1]. Напомним, в этом случае закон, записанный для r элементов первого множества и r элементов второго множества, имеет вид:

$$\Phi_{(r,r)}(u_{i\alpha},u_{i\beta},\ldots)=\begin{vmatrix} u_{i\alpha} & u_{i\beta} & \cdots & u_{i\gamma} \\ u_{k\alpha} & u_{k\beta} & \cdots & u_{k\gamma} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ u_{j\alpha} & u_{j\beta} & \cdots & u_{j\gamma} \end{vmatrix}=0, \qquad (12.3.1)$$

где парные отношения представляются в форме (11.5.3).

2. Комплексность отношений. Для построения бинарной геометрофизики оказалось необходимым *обобщить теорию бинарных физических структур Кулакова с вещественными парными отношениями на случай бинарных систем комплексных отношений*, когда парные отношения и параметры элементов описываются комплексными числами. Легко убедиться, что в комплексифицированной теории законы и пар-

[1] В принципе, возможны обобщения теории на несимметричные системы отношений, однако пока такие обобщения не рассматривались.

ные отношения имеют тот же самый вид[1]. В дальнейшем вместо названия «бинарные структуры» будем использовать термин *бинарные системы комплексных отношений*, или сокращенно — (БСКО).

Напомним, что в аксиоматике геометрии всегда подразумевается блок неявно заданных аксиом арифметики. Именно там заложено понятие вещественных чисел. В частности, вещественные числа тесно связаны с аксиомой Архимеда, позволяющей сравнивать два отрезка, вводить понятия «больше» или «меньше». Квантовая механика и вообще закономерности микромира описываются на основе комплексных чисел, что обусловлено тем, что для комплексных чисел нельзя сказать, какое из них больше, а какое меньше.

Р. Пенроуз при обсуждении предпосылок теории твисторов писал: «Комплексные числа представляются (по крайней мере на нашем современном уровне понимания) весьма важным составным элементом структуры физических законов. Теория твисторов распространяет этот тезис далее, выдвигая предположение о возможной тесной связи комплексных чисел с определением природы самого пространства-времени» [113, с. 134].

3. Элементарный базис как прообраз классического тела отсчета. Особо следует остановиться на происхождении параметров элементов. Они являются аналогами понятий координат в обычной геометрии. Чтобы к ним прийти, в законе (12.3.1) нужно выделить $r-1$ элементов множества $\mathcal{M}$ и $r-1$ элементов множества $\mathcal{N}$ и считать их *базисными или эталонными*. На рис. 12.3 эти элементы обозначены буквами m, n, μ, ν. На этот закон можно смотреть как на соотношение, определяющее парное отношение между двумя неэталонными элементами (пусть ими будут элементы i и α) через их отношения к эталонным элементам. Отношения же между самими эталонными элементами можно считать раз и навсегда заданными. Тогда оказывается, что парное отношение $u_{i\alpha}$ характеризуется $r-1$ параметрами элемента i (его отношениями к $r-1$ эталонным элементам множества $\mathcal{N}$) и аналогичными $r-1$ параметрами элемента α.

Система эталонных элементов составляет *элементарный базис БСКО*. Понятие элементарного базиса играет в бинарной геометрофизике важную роль, сравнимую с телом отсчета в теории относительности. Изложенное здесь позволяет говорить о замене понятия макроприбора

[1] Однако теперь, строго говоря, следовало бы заново доказать теоремы единственности используемых законов.

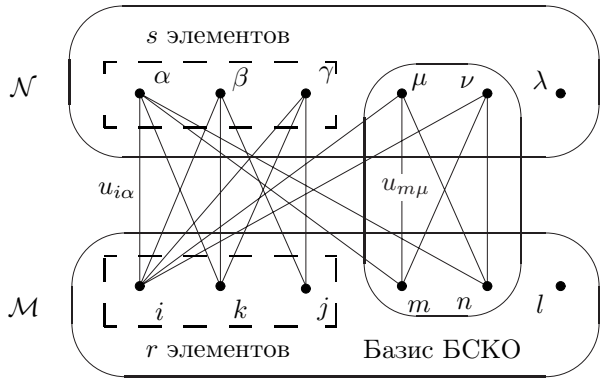

Рис. 12.3. Бинарная система отношений (структура) ранга (r, s)

m в обозначении квантовой теории $R_m(\mu)$ на его аналог — элементарный базис μ в символе бинарной геометрофизики $R_\mu(\mu)$.

4. Фундаментальные отношения. В бинарной геометрофизике ключевую роль играют миноры максимального порядка в законе БСКО (12.3.1), т. е. отличные от нуля определители порядка $(r-1)$. Они названы *фундаментальными* $(r-1)\times(r-1)$*-отношениями* и для них принято специальное обозначение в виде двух этажей из символов двух групп элементов первого и второго множеств, заключенных в квадратные скобки. Можно показать, что в БСКО произвольного ранга (r, r) фундаментальные отношения обладают замечательным свойством:

$$\begin{bmatrix} \alpha\,\beta\cdots \\ i\;k\cdots \end{bmatrix} \equiv \begin{vmatrix} u_{i\alpha} & u_{i\beta} & \cdots \\ u_{k\alpha} & u_{k\beta} & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} i^1 & k^1 & \cdots \\ i^2 & k^2 & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} \alpha^1 & \beta^1 & \cdots \\ \alpha^2 & \beta^2 & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots \end{vmatrix}, \tag{12.3.2}$$

т. е. записываются через произведения из определителей, составленных из параметров одного сорта. Забегая вперед, отметим, что *специальные комбинации из фундаментальных отношений определяют прообраз действия (лагранжиана) пары взаимодействующих частиц.*

Легко видеть, что элементарный базис характеризуется именно фундаментальным $(r-1)\times(r-1)$-отношением. Как и в классической физике, здесь будут использоваться привилегированные элементарные базисы.

5. Характерные группы преобразований. Можно показать, что в бинарной геометрофизике переходы от одного элементарного базиса к другому описываются линейными преобразованиями параметров эле-

ментов двух множеств:

$$i'^s = C^s_r i^r; \quad \alpha'^s = C^{\star s}_r \alpha^r, \tag{12.3.3}$$

где C^s_r и $C^{\star s}_r$ — коэффициенты, определяющие класс используемых бинарных систем отношений (эталонных элементов). Следует ограничиться случаем, когда элементы двух множеств преобразуются при помощи комплексно сопряженных коэффициентов.

Как и в специальной теории относительности, в бинарной геометрофизике выделяется класс линейных преобразований, соответствующий переходам между привилегированными элементарными базисами. Они характеризуются условиями, что при этих преобразованиях остаются неизменными (инвариантными) каждый из определителей справа в фундаментальном $(r-1)\times(r-1)$ отношении (12.3.2). Легко показать, что такие преобразования составляют $2r(r-2)$-параметрическую группу $SL(r-1,C)$.

6. Ранг БСКО. Следующий ключевой вопрос теории — это вопрос о ранге. Естественно ожидать, что главную роль в теории играют БСКО минимальных рангов: $(2,2)$, $(3,3)$, $(4,4)$, ... Поиск необходимого для описания физики ранга осуществлялся методом индукции, то есть последовательно изучались возможности моделей бинарной геометрофизики на основе БСКО, начиная с рангов (2,2) и (3,3) и далее более высоких рангов (4.4), (5,5), (6,6). На блок-схеме рисунка 12.4 изображены рассматривавшиеся модели. Кратко поясним возможности и значение каждой из них.

С помощью БСКО рангов (2,2) и (3,3) строится идеализированная модель, описывающая свободные (невзаимодействующие) простейшие элементарные частицы — лептоны. Эта модель составляет основу для построения прообраза классического пространства-времени. На рисунке она изображена в левой части блок-схемы. В средней части рисунка (по горизонтали) помещены модели, основанные на БСКО рангов (4,4), (5,5) и (6,6). Они описывают взаимодействующие частицы. При этом оказалось, что БСКО ранга (4,4) представляет собой простейшую модель, позволяющую приближенно описать основные моменты электрослабых взаимодействий лептонов. В рамках БСКО ранга (5,5) можно учесть некоторые более тонкие моменты электрослабых взаимодействий лептонов, а также можно построить упрощенную модель взаимодействий лептонов и адронов.

Для полного описания известных закономерностей физики необходимо использовать БСКО ранга (6,6). Следует отметить, что *выделенное число 6 включает в себя двоичность и троичность,*

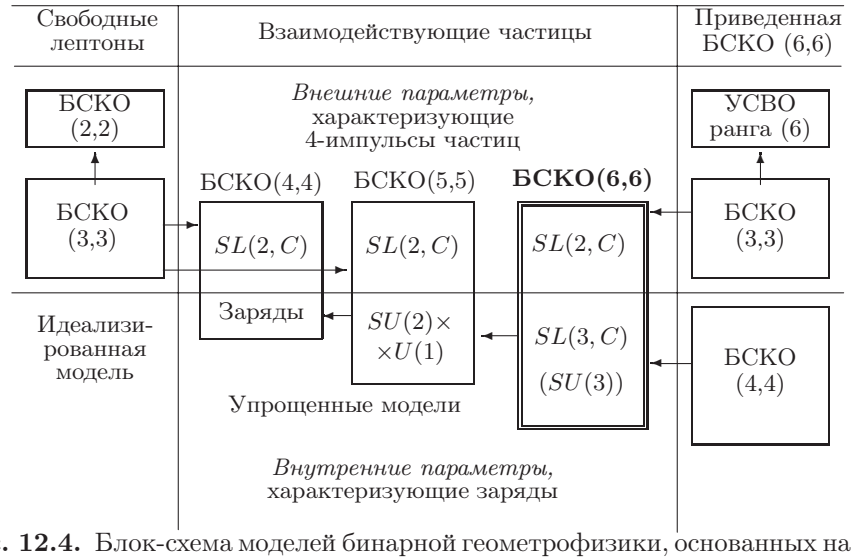

Рис. 12.4. Блок-схема моделей бинарной геометрофизики, основанных на разных рангах БСКО

характерную для метафизики. На основе БСКО ранга (6,6), выделенной на рисунке двойной рамкой, оказалось возможным описать как прообраз сильных взаимодействий адронов, так и электрослабые взаимодействия лептонов и адронов в общем виде.

7. Расщепление ранга и группы преобразований. Каждый элемент БСКО ранга (6,6) характеризуется $r-1=5$ параметрами. Анализ показал, что для описания физического реальности необходимо произвести $5=2+3$-расщепление параметров на две части, где первые два параметра (с индексами 1 и 2), названные *внешними*, следует использовать для описания компонент 4-мерного импульса (скорости) частиц, а три оставшиеся (с индексами 3, 4 и 5), названные *внутренними*, должны определять, как и в многомерных геометрических моделях, заряды элементарных частиц. (Заметим, что $2+3$-расщепление параметров содержит числа, также характерные для двоичности и троичности метафизики.) Это разделение соответствует процедурам $n=4+1+1+\cdots$-расщеплению в многомерных геометрических моделях физических взаимодействий.

Названное разделение фактически означает расщепление исходной БСКО ранга (6,6) на две подсистемы: БСКО ранга (3,3) (с двумя параметрами) и БСКО ранга (4,4) (с тремя параметрами). В результате расщепления исходная группа преобразований $SL(5,C)$ в БСКО ранга

(6,6) сужается до произведения двух подгрупп: $SL(2,C)$ — для внешних параметров и $SL(3,C)$ (или более узкой группы $SU(3)$) — для внутренних параметров.

Перечисленные понятия и факторы лежат в основе теории, последовательно развивающей принципы аристотелевского триединства (монистической парадигмы). В следующих параграфах этой главы показано, как на самом элементарном уровне бинарной геометрофизики проявляются основные свойства трех ключевых физических категорий триалистической парадигмы: классического пространства-времени, частиц и полей переносчиков взаимодействий.

12.4. Истоки 4-мерности и сигнатуры классического пространства-времени

Понятия БСКО низших рангов фактически уже давно используются в теоретической физике. В частности, *понятие спина элементарных частиц и теория 2-компонентных спиноров, оказывается, возникает в рамках БСКО минимального невырожденного ранга (3,3)*. Поясним это утверждение. Согласно общей теории бинарных систем отношений, закон БСКО ранга (3,3) имеет вид

$$\Phi = \begin{vmatrix} u_{i\alpha} & u_{i\beta} & u_{i\gamma} \\ u_{k\alpha} & u_{k\beta} & u_{k\gamma} \\ u_{j\alpha} & u_{j\beta} & u_{j\gamma} \end{vmatrix} = 0, \tag{12.4.1}$$

где парные отношения

$$u_{i\alpha} = i^1\alpha^1 + i^2\alpha^2 \tag{12.4.2}$$

определяются двумя парами комплексных параметров i^1, i^2 (начальное состояние) и α^1, α^2 (конечное состояние).

Возьмем фундаментальное 2×2-отношение, которое, согласно (12.3.3), представляется в виде

$$\begin{vmatrix} u_{i\alpha} & u_{i\beta} \\ u_{k\alpha} & u_{k\beta} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} i^1 & k^1 \\ i^2 & k^2 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} \alpha^1 & \beta^1 \\ \alpha^2 & \beta^2 \end{vmatrix} \equiv \begin{bmatrix} \alpha\beta \\ ik \end{bmatrix}. \tag{12.4.3}$$

Ограничимся рассмотрением лишь таких элементарных базисов, которые связаны линейными преобразованиями (12.3.2), оставляющими инвариантными (неизменными) каждый из определителей справа в (12.4.3), т. е.

$$\begin{vmatrix} i^1 & k^1 \\ i^2 & k^2 \end{vmatrix} = i^1k^2 - i^2k^1 = Inv; \quad \alpha^1\beta^2 - \alpha^2\beta^1 = Inv. \tag{12.4.4}$$

Эти выражения можно понимать как антисимметричные метрики в каждом из двух множеств (пространств) БСКО ранга (3,3). Но, если вспомнить определение 2-компонентных спиноров в разд. 4.4, как 2-мерных комплексных векторов, для которых определена инвариантная антисимметричная квадратичная форма (метрика) (4.4.3), то станет ясно, что элементы БСКО ранга (3,3) с условием (12.4.4) описываются 2-компонентными спинорами.

Обратим внимание на тот факт, что в исходных положениях бинарной геометрофизики определены отношения — своеобразная метрика — лишь между элементами двух различных множеств $\mathcal{M}$ и $\mathcal{N}$ и не было отношений внутри каждого из множеств. Однако в (12.4.4) возникли антисимметричные метрики внутри каждого из множеств, можно сказать, «наведенные» выделенным классом базисных элементов. Таким образом, можно утверждать, что теория 2-компонентных спиноров является следствием БСКО ранга (3,3).

Коэффициенты линейных преобразований (12.3.2), оставляющих инвариантными антисимметричные формы (12.4.4), удовлетворяют условию (4.4.4), т. е. $C_1^1 C_2^2 - C_2^1 C_1^2 = 1$. Следовательно, на четыре комплексных коэффициента C_r^s наложено два вещественных условия. Эти преобразования, связывающие выделенный класс базисных элементов, образуют 6-параметрическую группу $SL(2, C)$, соответствующую группе Лоренца.

В разд. 4.4 отмечалось, что преобразования вида (12.3.2), одновременно сохраняющие инвариантными как антисимметричные формы (12.4.4), так и парные отношения $u_{i\alpha}$ в (12.4.2), образуют 3-параметрическую группу $SU(2)$, соответствующую вращениям в 3-мерном пространстве.

Напомним, что в общепринятой теории к спинорам приходят, исходя из плоского 4-мерного пространства-времени с соответствующей ему группой Лоренца, а на основе алгебр Клиффорда над полем вещественных чисел можно определить спиноры в пространствах любой размерности и сигнатуры. Но можно рассуждать и в обратном направлении: если задан вид спиноров, то сразу же можно сказать о размерности и сигнатуре многообразия, в котором определены эти спиноры. Учитывая, что в нашем случае массивные частицы описываются парой 2-компонентных спиноров, приходим к выводу, что таким образом уже заложены основы 4-мерности теории с сигнатурой $(+ - - -)$. Другими словами, можно утверждать, что **размерность (4-мерность) и сигнатура классического пространства-времени обусловле-**

ны бинарной системой комплексных отношений минимального невырожденного ранга (3,3).

В связи с данным выводом сделаем два замечания.

1) В близкой по преследуемым целям твисторной программе Пенроуза 4-мерие и сигнатура пространства-времени автоматически следуют из основного постулата теории — из определения твистора. В бинарной геометрофизике спинорность получается как следствие при рассмотрении упрощенной (идеализированной) модели на основе БСКО ранга (3,3). В нашем подходе предлагается рассматривать БСКО и более высокого ранга, в которых возникают обобщенные (финслеровы) спиноры.
2) В известной монографии Ч. Мизнера, К. Торна и Дж. Уилера «Гравитация» ставился «вопрос о том, можно ли построить геометрию с помощью квантового принципа из основных элементов, которые сами по себе не обладают какой-либо определенной размерностью. В центре внимания дискуссии, которая проходила в 1964 г., была «размерность без размерности». Однако основными причинами, заставляющими размышлять о предгеометрии, были и остаются две характерные особенности природы: спин $1/2$ и заряд, говорящие сами за себя во весь голос в любой области физики элементарных частиц» [82, с. 474].

В бинарной геометрофизике фактически решается поставленный выше вопрос. **Размерность вводится не как топологическое свойство непрерывного многообразия, а алгебраически — через ранг закона БСКО**, т. е. размерность определяется числами элементов, связанных в законе.

Однако от алгебраических понятий БСКО ранга (3,3) до 4-мерного координатного пространства-времени путь не близкий. **В бинарной геометрофизике из параметров элементов непосредственно строятся компоненты 4-мерных импульсов.** Другими словами, из БСКО ранга (3,3) осуществляется переход к пространству скоростей или к импульсному пространству. Это соответствует ранее высказывавшимся соображениям о более первичном характере импульсов в физике микромира. Классическое координатное пространство-время оказывается более сложным понятием, возникающим вместе с понятиями взаимодействия частиц при переходе к макромиру.

Из параметров пар элементов — двух 2-компонентных спиноров — по обычным правилам строятся 4-мерные векторы, физически интерпретируемые как компоненты скорости (или импульса) массивных частиц.

Вводя 4-рядные матрицы Дирака в представлении (4.3.11), компоненты 4-скорости частицы, описываемой элементами i и k в начальном состоянии и α и β в конечном состоянии, можно представить следующим образом:

$$\begin{aligned} u^0 &= \frac{1}{2}(i^1\alpha^1 + i^2\alpha^2 + k^1\beta^1 + k^2\beta^2);\\ u^1 &= \frac{1}{2}(i^1\alpha^2 + i^2\alpha^1 + k^1\beta^2 + k^2\beta^1);\\ u^2 &= \frac{1}{2}(i^1\alpha^2 - i^2\alpha^1 + k^1\beta^2 - k^2\beta^1);\\ u^3 &= \frac{1}{2}(i^1\alpha^1 - i^2\alpha^2 + k^1\beta^1 - k^2\beta^2), \end{aligned} \tag{12.4.5}$$

соответствующим формулам (4.4.5).

Указанный *переход от параметров к скоростям (импульсам) можно геометрически истолковать как переход от БСКО ранга (3,3) к унарной геометрии Лобачевского (к УСВО ранга 6)* путем своеобразной склейки двух пар элементов из двух множеств БСКО в новые элементы одного множества. Очевидно, компоненты вектора в (12.4.5) являются вещественными, если параметры элементов α и β комплексно сопряжены параметрам элементов i и k. Именно компоненты u^μ физически интерпретируются.

Близкие по смыслу проблемы имеются как в общепринятой квантовой теории, так и в общей теории относительности. Напомним, в квантовой теории переход от комплексных волновых функций к наблюдаемым величинам (импульсам, координатам и т. д.) осуществляется с помощью эрмитовых операторов, имеющих вещественные собственные значения. В общей теории относительности переход от тензорных величин, зависящих от произвола в выборе координатной системы, к наблюдаемым величинам производится посредством проецирования на направления используемых систем отсчета. (В ОТО истинно наблюдаемыми являются лишь скаляры.) В случае БСКО ранга (3,3) аналогом указанных процедур является *переход от БСКО к УСВО* путем соответствующей «сшивки» элементов двух множеств в объекты (элементы) одного сорта. Таким образом, в бинарной геометрофизике появляются и УСВО, однако они имеют вторичный характер.

Подчеркнем, что в этом параграфе упомянуты лишь самые существенные положения БСКО ранга (3,3), в рамках которой описываются *идеализированные, невзаимодействующие частицы.*

12.5. Элементарные частицы

В бинарной геометрофизике *взаимодействующие частицы* описываются БСКО ранга (6,6), а **состояния элементарных частиц (лептонов и кварков) характеризуются тройками элементов в каждом из двух множеств** $\mathcal{M}$ и $\mathcal{N}$ БСКО. Подчеркнем, что кварк не соответствует отдельным элементам, а, как и барионы, описывается тремя элементами в каждом из состояний, т. е. характеризуется прямоугольной 3×5-матрицей из параметров трех элементов. Так, если кварк q в начальном состоянии описывается тройкой элементов i, k, j, то ему соответствует матрица:

$$q(ikj)\to\left(\begin{array}{ccc} i^1 & k^1 & j^1\\ i^2 & k^2 & j^2\\ \hline i^3 & k^3 & j^3\\ i^4 & k^4 & j^4\\ i^5 & k^5 & j^5 \end{array}\right). \qquad (12.5.1)$$

Упомянутое выше $2+3$-расщепление параметров элементов БСКО ранга (6,6) на внешние и внутренние отображено горизонтальной линией, разделяющей исходную 3×5-матрицу на прямоугольную 3×2-матрицу из внешних параметров и квадратную 3×3-матрицу из внутренних (зарядовых) параметров.

В бинарной геометрофизике лептоны и кварки единообразно описываются тройками элементов. Кварки характеризуются общим случаем (12.5.1), когда все три 2-столбца из внешних параметров содержат ненулевые компоненты, а для массивных лептонов (электронов (e)) матрица имеет тот же вид (12.5.1), однако один из верхних 2-компонентных столбцов состоит из нулевых внешних параметров. Пусть это будет третий столбец:

$$(e)\Rightarrow\left(\begin{array}{ccc} i^1 & k^1 & 0\\ i^2 & k^2 & 0\\ \hline c^3_{(1)} & c^3_{(2)} & c^3_{(3)}\\ c^4_{(1)} & c^4_{(2)} & c^4_{(3)}\\ c^5_{(1)} & c^5_{(2)} & c^5_{(3)} \end{array}\right);\quad (\nu)\Rightarrow\left(\begin{array}{ccc} 0 & 0 & j^1\\ 0 & 0 & j^2\\ \hline c^3_{(1)} & c^3_{(2)} & c^3_{(3)}\\ c^4_{(1)} & c^4_{(2)} & c^4_{(3)}\\ c^5_{(1)} & c^5_{(2)} & c^5_{(3)} \end{array}\right), \qquad (12.5.2)$$

где, как и ранее, верхние две строки соответствуют внешним 2-компонентным спинорам, а оставшиеся три строки — дополнительным параметрам (3-компонентным финслеровым спинорам), для которых введены новые обозначения. Для нейтрино (ν), также описываемого

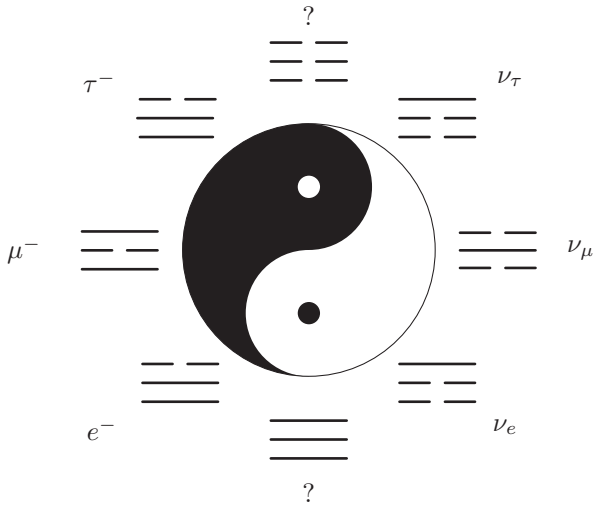

Рис. 12.5. Сопоставление трех поколений лептонов с системой китайских триграмм

3×5-матрицей (12.5.1), два 2-столбца из внешних парметров являются нулевыми. Пусть это будут первые два столбца, как это записано в (12.5.2). Отметим, что число нулевых столбцов из внешних параметров является инвариантным свойством частиц относительно выделенных групп преобразований параметров.

Легко видеть, что имеются три возможности (по числу 2-компонентных столбцов из внешних параметров) для определения массивных лептонов и аналогичные им три возможности для определения нейтрино. В бинарной геометрофизике эти *три возможности интерпретируются как три поколения лептонов*.

Данное определение поколений можно проиллюстрировать с помощью системы китайских триграмм (см. рис. 12.5), если, например, в них сплошные отрезки сопоставить с ненулевыми столбцами внешних параметров, а прерывистые — с нулевыми столбцами. Очевидно, таким образом устанавливается соответствие лишь с шестью средними смешанными триграммами. Оставшиеся две триграммы (нижняя и верхняя) оказываются неотождествленными. Нижнюю триграмму с тремя сплошными столбцами логично интерпретировать как частицу с отличными от нуля тремя 2-столбцами из внешних параметров (как кварки). Верхняя триграмма может соответствовать **неизвестному виду (фиктивных?) элементарных частиц, не обладающих ни энергией, ни импульсом**.

Поколения кварков определяются не через внешние, а посредством выделения одного из столбцов внутренних параметров. В итоге опять получается шесть возможностей, которые можно проиллюстрировать через систему китайских смешанных триграмм.

Многие положения бинарной геометрофизики соответствуют принятым в стандартных калибровочных моделях физических взаимодействий. В рамках бинарной геометрофизики легко определяются антикварки и антилептоны, а также вводятся мезоны как частицы, описываемые парами элементов в каждом из двух множеств БСКО ранга (6,6), причем в согласии с общепринятым подходом один из этих элементов будет соответствовать определению кварка, а другой — антикварка.

12.6. Прообраз уравнения Дирака

До появления координатного пространства-времени и связанных с ним дифференциальных уравнений уже возможно, опираясь на изложенный материал, ввести соотношения, являющиеся прообразом уравнений Дирака в импульсном пространстве. Для этого следует ограничиться случаем лептонов в рамках идеализированной модели на основе БСКО ранга (3,3), где невзаимодействующие массивные лептоны (электроны) описываются парами элементов.

Пусть электрон (e) описывается двумя парами элементов: i, k и α, β, тогда его можно охарактеризовать в терминах, близких общепринятым в квантовой теории, то есть 4-компонентными столбцом и строкой вида (4.5.8) и (4.5.9):

$$\psi \equiv \begin{pmatrix} \psi_1 \\ \psi_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} i^1 \\ i^2 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} i^1 \\ i^2 \\ \beta^2 \\ -\beta^1 \end{pmatrix}; \quad e^\dagger = (\alpha^1, \alpha^2, k_1, k_2), \qquad (12.6.1)$$

где величины с индексом снизу обозначают ковариантные компоненты спиноров.

Определяя матрицу γ^5, можно по обычным правилам ввести левые и правые компоненты электрона, тогда парой элементов i, α описывается левая компонента электрона, а парой k, β — правая компонента. Для нейтрино, очевидно, имеется лишь одна компонента.

В стандартной квантовой теории взаимодействующие частицы также описываются 4-компонентными столбцами или строками, а вместо дополнительных параметров бинарной геометрофизики феноменологически вводятся заряды.

Очевидно, не всякая пара элементов БСКО ранга (3,3) может считаться описывающей одну и ту же идеализированную частицу. На внешние параметры элементов, характеризующих один лептоны, наложены условия связи «по горизонтали» (в одном множестве элементов) и «по вертикали» (в двух множествах). Так, для *свободных* лептонов условия связи по вертикали означают, что параметры двух пар элементов в двух множествах комплексно сопряжены друг другу, в согласии с правилами квантовой механики. Для электрона в (12.6.1) это означает

$$i^s = \overset{*}{\alpha}{}^s, k^s = \overset{*}{\beta}{}^s \ . \tag{12.6.2}$$

Условия связи «по горизонтали» вытекают из двух требований [27]. Первое — состоит в том, что каждый из определителей справа в фундаментальном 2×2-отношении (12.4.4) характеризуется неким инвариантным вещественным значением, которое без ущерба для общности можно положить равным единице:

$$i^1 k^2 - i^2 k^1 = \pm 1. \tag{12.6.3}$$

Две возможности в выборе знака естественно связать с фактом существования частиц и античастиц. Пусть для частиц (электронов) знак будет положительным, тогда как для античастиц (позитронов) — отрицательным.

Второе требование связано с понятием *собственной системы отношений*, родственным классическому понятию собственной системы отсчета. Назовем собственной системой отношения электрона случай такого выбора элементарного базиса (системы эталонных элементов), при котором удовлетворяются соотношения:

$$u_{i\alpha} = u_{k\beta} = 1; \quad u_{i\beta} = u_{k\alpha} = 0, \tag{12.6.4}$$

т. е. отношения между элементами, связанными по вертикали, согласно (12.6.2), равны единице, а между несвязанными равны нулю.

Термин собственная система отношений оправдывается тем, что из (12.6.2) — (12.6.4) для компонент 4-скорости частицы (12.4.5) получаются значения:

$$u^0_{(c)} = 1; \quad u^i_{(c)} = 0, \tag{12.6.5}$$

где символом (c) снизу отмечено значение величин в собственной системе отношений.

Из соотношений (12.6.3) и (12.6.4) следуют условия связи параметров двух элементов «по горизонтали»

$$\psi_{(c)1} \equiv \begin{pmatrix} i^1_{(c)} \\ i^2_{(c)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k^{\star 2}_{(c)} \\ -k^{\star 1}_{(c)} \end{pmatrix} \equiv \psi_{(c)2}, \tag{12.6.6}$$

соответствующие уравнениям Дирака в импульсном пространстве в собственной системе отношений.

Переходя из собственной системы отношений в другую посредством преобразований из 6-параметрической группы $SL(2,C)$ и заменяя параметры преобразований через скорости движения u_μ одного элементарного базиса относительно другого (что эквивалентно введению скорости движения рассматриваемой частицы), приходим к 2-рядному соотношению в знакомых терминах

$$\sigma^\mu_{(-)} p_\mu \psi_1 - m_0 c \psi_2 = 0, \tag{12.6.7}$$

где введены 2-рядные матрицы Паули $\sigma^\mu_{(-)} = \{I_2, -\sigma^i\}$ и компоненты импульса частицы $p_\mu = m_0 c u_\mu$ посредством умножения всего выражения на константу m_0, соответствующую массе покоя частицы.

Вторая пара 2-компонентных соотношений выводится аналогичным образом из условий связи параметров элементов α^s и β^s в собственной системе отношений или как обратное соотношение к (12.6.7)

$$\sigma^\mu_{(+)} p_\mu \psi_2 - m_0 c \psi_1 = 0, \tag{12.6.8}$$

где использовано обозначение $\sigma^\mu_{(+)} = \{I_2, +\sigma^i\}$.

Собирая вместе два 2-компонентных соотношения, приходим к 4-компонентному выражению

$$(\gamma^\mu p_\mu + m_0 c)\psi = 0, \tag{12.6.9}$$

соответствующему уравнению Дирака в импульсном пространстве в произвольной системе отношений. Здесь использована запись матриц Дирака γ^μ через 2-рядные матрицы Паули.

Легко убедиться, что для 4-мерных скоростей свободной частицы, определенных выражениями (12.4.5), имеем

$$\begin{vmatrix} u_{i\alpha} & u_{i\beta} \\ u_{k\alpha} & u_{k\beta} \end{vmatrix} \equiv \begin{bmatrix} \alpha\, \beta \\ i\ \ k \end{bmatrix} = g_{\mu\nu} u^\mu u^\nu = 1. \tag{12.6.10}$$

. Умножая это выражение на $m_0^2 c^2$, получаем известные соотношения для 4-мерных импульсов.

Введя вторую частицу e_2, описываемую параметрами: j, s, γ, δ, можно определить скалярное произведение скоростей (импульсов) двух частиц в виде формул:

$$u_1^\mu u_{2\mu} = \frac{1}{4}(\overline{e}_1 \gamma^\mu e_1)(\overline{e}_2 \gamma_\mu e_2) = \frac{1}{2}\left(\begin{bmatrix} \alpha\gamma \\ ij \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \alpha\delta \\ is \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \beta\gamma \\ kj \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \beta\delta \\ ks \end{bmatrix} \right), \tag{12.6.11}$$

где, напомним, выражения в квадратных скобках обозначают фундаментальные 2×2-отношения БСКО ранга (3,3), определенные в (12.4.3).

12.7. Бинарный объем как прообраз физического действия

Для построения содержательной теории физических взаимодействий недостаточно указать лишь строительный материал — необходимо возвести само «здание теории» с неким несущим «каркасом». В рамках физического миропонимания, как правило, роль «каркаса» выполняет физическое действие S или входящий в его определение лагранжиан (гамильтониан) рассматривающейся системы. В специфической формулировке квантовой механики таковым «каркасом» служит S-матрица, при геометрическом подходе опираются на метрику и скалярную кривизну. **В бинарной геометрофизике в качестве прообраза трех родственных понятий физики: S-матрицы, действия (или лагранжиана) взаимодействия двух элементарных частиц, многомерной метрики — выступает так называемое базовое 6×6-отношение**, симметричным образом содержащее параметры $3+3=6$ элементов двух частиц в начальном состоянии и $3+3=6$ элементов двух частиц в конечном состоянии. Оно записывается следующим образом

$$\left\{\begin{matrix}\alpha\,\beta\,\gamma\,\delta\,\lambda\,\rho\\ i\;\;k\;\;j\;\;s\;\;l\;\;r\end{matrix}\right\}\equiv\left|\begin{matrix}0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1\\ 1 & u_{i\alpha} & u_{i\beta} & u_{i\gamma} & u_{i\delta} & u_{i\lambda} & u_{i\rho}\\ 1 & u_{k\alpha} & u_{k\beta} & u_{k\gamma} & u_{k\delta} & u_{k\lambda} & u_{k\rho}\\ 1 & u_{j\alpha} & u_{j\beta} & u_{j\gamma} & u_{j\delta} & u_{j\lambda} & u_{j\rho}\\ \hline 1 & u_{s\alpha} & u_{s\beta} & u_{s\gamma} & u_{s\delta} & u_{s\lambda} & u_{s\rho}\\ 1 & u_{l\alpha} & u_{l\beta} & u_{l\gamma} & u_{l\delta} & u_{l\lambda} & u_{l\rho}\\ 1 & u_{r\alpha} & u_{r\beta} & ur\gamma & u_{r\delta} & u_{r\lambda} & u_{r\rho}\end{matrix}\right|=$$

$$=\left|\begin{matrix}i^1 & k^1 & j^1 & s^1 & l^1 & r^1\\ i^2 & k^2 & j^2 & s^2 & l^2 & r^2\\ \hline i^3 & k^3 & j^3 & s^3 & l^3 & r^3\\ i^4 & k^4 & j^4 & s^4 & l^4 & r^4\\ i^5 & k^5 & j^5 & s^5 & l^5 & r^5\\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1\end{matrix}\right|\times\left|\begin{matrix}\alpha^1 & \beta^1 & \gamma^1 & \delta^1 & \lambda^1 & \rho^1\\ \alpha^2 & \beta^2 & \gamma^2 & \delta^2 & \lambda^2 & \rho^2\\ \hline \alpha^3 & \beta^3 & \gamma^3 & \delta^3 & \lambda^3 & \rho^3\\ \alpha^4 & \beta^4 & \gamma^4 & \delta^4 & \lambda^4 & \rho^4\\ \alpha^5 & \beta^5 & \gamma^5 & \delta^5 & \lambda^5 & \rho^5\\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1\end{matrix}\right|,\qquad(12.7.1)$$

где вертикальные линии подчеркивают тот факт, что первая частица описывается элементами i, k, j, α, β, γ, а вторая частица — элементами $s, l, r, \delta, \lambda, \rho$. Это выражение инвариантно относительно преобразований параметров из группы $SL(5,C)$ и, следовательно, инвариантно относительно ее подгруппы $SL(2,C)\times SL(3,C)$.

Физическая интерпретация базового 6×6-отношения проиллюстрирована диаграммами рисунка 12.5, где слева изображена 12-хвостка би-

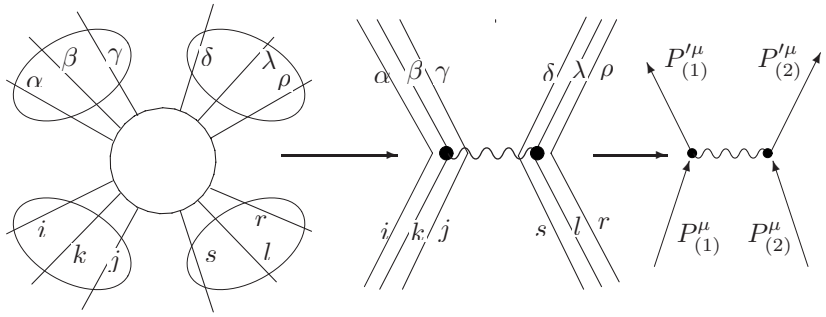

Рис. 12.6. Физическая иллюстрация базового 6 × 6-отношения.

нарной геометрофизики. Две тройки нижних линий описывают начальные состояния двух частиц, а две верхние тройки — их конечные состояния. В середине представлено обобщение диаграммы фейнмановского типа, а справа дана стандартная диаграмма рассеяния одной частицы на другой.

Сделаем несколько замечаний относительно базового 6 × 6-отношения.

1. *Прообраз действия взаимодействия двух элементарных частиц представляет собой своеобразный объем в бинарной геометрии ранга (6,6)*, аналогичный выражениям объема через определители (11.1.3) и (11.3.10) в унарной геометрии.
2. *В прообразе действия, как и во всей теории, среди первичных понятий нет промежуточных бозонов (глюонов, бозонов).* Взаимодействие описывается непосредственно через характеристики (параметры) частиц в духе теории прямого межчастичного взаимодействия Фоккера—Фейнмана. При желании промежуточные бозоны можно ввести как вторичное вспомогательное понятие.
3. *Для взаимодействующих частиц уже не выполняются условия комплексного сопряжения параметров элементов двух множеств* (нарушаются условия связи «по вертикали» (12.6.2)). Вводя для элементов частиц в начальных и конечных состояниях комплексно сопряженные величины и строя из них по известным формулам 4-скорости (импульсы), (12.4.5) можно привести к типичному для S-матрицы виду, содержащему характеристики (импульсы) частиц до и после взаимодействия.

Для перехода от базового 6 × 6-отношения к прообразу действия (лагранжиана) двух частиц необходимо, прежде всего, базовое 6 × 6-

отношение представить в редуцированном на «4-мерие» виде, когда выделены параметры с индексами 1 и 2 и итоговое выражение имеет лоренренц-инвариантный ($SL(2,C)$-инвариантный) вид. Это достигается разложением определителей справа в (12.7.1) по первым двум строкам. Перемножая их, приходим к совокупности из 225 выражений вида

$$\left\{\begin{matrix}\alpha\,\beta\,\gamma\,\delta\,\lambda\,\rho\\ i\;\;k\;\;j\;\;s\;\;l\;\;r\end{matrix}\right\}=\sum^{225}\begin{bmatrix}\alpha\,\delta\\ i\;\;s\end{bmatrix}\begin{pmatrix}\beta\,\gamma\,\lambda\,\rho\\ k\;\;j\;\;l\;\;r\end{pmatrix}, \tag{12.7.2}$$

где квадратными скобками отмечены фундаментальные 2×2-отношения, построенные из параметров с индексами 1 и 2, а круглыми скобками отмечены комбинации из внутренних параметров вида

$$\begin{pmatrix}\beta\,\gamma\,\lambda\,\rho\\ k\;\;j\;\;l\;\;r\end{pmatrix}=\left|\begin{array}{cc|cc}k^3 & j^3 & l^3 & r^3\\ k^4 & j^4 & l^4 & r^4\\ k^5 & j^5 & l^5 & r^5\\ 1 & 1 & 1 & 1\end{array}\right|\times\left|\begin{array}{cc|cc}\beta^3 & \gamma^3 & \lambda^3 & \rho^3\\ \beta^4 & \gamma^4 & \lambda^4 & \rho^4\\ \beta^5 & \gamma^5 & \lambda^5 & \rho^5\\ 1 & 1 & 1 & 1\end{array}\right|. \tag{12.7.3}$$

Совокупность из 225 слагаемых вида (12.7.2) следует разбить на 9 подмножеств (блоков), которые удобно изобразить в виде блоков 15×15-матрицы, выделенных горизонтальными и вертикальными линиями:

$$\left\{\begin{matrix}\alpha\,\beta\,\gamma\,\delta\,\lambda\,\rho\\ i\;\;k\;\;j\;\;s\;\;l\;\;r\end{matrix}\right\}=\left(\begin{array}{ccc|ccccccccc|ccc}\star&\star&\star&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\star&\star&\star\\ \star&\star&\star&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\star&\star&\star\\ \star&\star&\star&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\star&\star&\star\\ \hline \cdot&\cdot&\cdot&\star&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot\\ \cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\star&\cdot&\star&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot\\ \cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\star&\cdot&\cdot&\cdot&\star&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot\\ \cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\star&\cdot&\star&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot\\ \cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\star&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot\\ \cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\star&\cdot&\star&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot\\ \cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\star&\cdot&\cdot&\cdot&\star&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot\\ \cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\star&\cdot&\star&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot\\ \cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\star&\cdot&\cdot&\cdot\\ \hline \star&\star&\star&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\star&\star&\star\\ \star&\star&\star&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\star&\star&\star\\ \star&\star&\star&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\cdot&\star&\star&\star\end{array}\right)\equiv$$

$$\equiv\left(\begin{array}{c|c|c}M(4,0) & +M(3,1) & +M[(2)(2)]+\\ \hline +M(3,1) & +M(2,2) & +M(1,3)+\\ \hline +M[(2),(2)] & +M(1,3) & +M(0,4)\end{array}\right), \tag{12.7.4}$$

где отдельные слагаемые обозначены точками или звездочками. Последними отмечены слагаемые, представляющие наибольший интерес в данной теории (при специальном порядке слагаемых).

Блоки различаются характером фундаментальных 2×2- отношений. Средний 9×9-блок содержит слагаемые вида $\left[\begin{smallmatrix}\cdot & | & \cdot\\ \cdot & | & \cdot\end{smallmatrix}\right]$, где вертикальная черта разделяет параметры, характеризующие две частицы. Такие слагаемые описывают вектор-векторные взаимодействия двух частиц, которые соответствуют взаимодействиям через промежуточные векторные бозоны (глюоны, фотоны, Z- или W-бозоны) в калибровочной теории.

Левый нижний и правый верхний 3×3-блоки $M[(2),(2)]$ состоят из слагаемых вида $\left[\begin{smallmatrix}\cdot & \cdot\\ \cdot & \cdot\end{smallmatrix}\right]$, где горизонтальная черта разделяет параметры, характеризующие две частицы. Такие слагаемые описывают скалярные взаимодействия двух частиц. Они соответствуют хиггсовским скалярным бозонам. Эти блоки будем называть массовыми. Диагональные левый верхний $M(4,0)$ и правый нижний блоки $M(0,4)$ состоят из слагаемых, содержащих внешние параметры лишь одной из частиц.

В оставшихся четырех крайних 3×9- и 9×3-блоках находятся слагаемые, содержащие по три параметра одной частицы и один параметр другой частицы. Имеются критерии, позволяющие исключить вклады таких слагаемых.

12.8. Истоки категории полей промежуточных бозонов

Как уже отмечалось, среди исходных понятий бинарной геометрофизики отсутствуют поля переносчиков взаимодействий. Их происхождение обусловлено характерными чертами описания взаимодействий в бинарной геометрофизике. Назовем главные из них.

1. Обменный характер физических взаимодействий. Если записать базовое 6×6-отношение для двух частиц с одинаковыми внутренними параметрами, то из-за антисимметрии столбцов в определителях оно обратится в нуль. Отличный от нуля результат возникает при использовании обменного механизма физических взаимодействий. Он основан на постулате, что по значениям внутренних параметров частицы могут находиться в двух видах состояний: в U-состоянии («нормальном») или в одном из X-состояний («возбужденных»). Процесс взаимодействия состоит в обмене частицами своими состояниями. Это соответствует общепринятым представлениям в теории поля, где взаимодействующие частицы обмениваются промежуточными бозонами. О подоб-

ном обменном механизме писал и Р. Пенроуз в рамках своей твисторной программы, только там имелся в виду обмен спинами частиц.

«Нормальное» или U-состояние характеризуется отличным от нуля 3×3-определителем из внутренних параметров.

2. Классификация -состояний. X-состояния могут быть разбиты на два класса: на невырожденные X_C-состояния, характеризуемые отличными от нуля определителями 3×3-матриц из внутренних параметров, и на вырожденные X_N-состояния, для которых определители из внутренних параметров равны нулю. Показано, что возможные X_N-состояния как в сильных, так и в электрослабых взаимодействиях тесно связаны с алгебраической классификацией 3×3-матриц из внутренних параметров, соответствующей алгебраической классификации Петрова пространств Эйнштейна в общей теории относительности.

X_C-состояния (заряженные) можно получить изменениями знака одного из трех столбцов из внутренних параметров U-состояния. Всего имеется три такие возможности (три канала), которые в соответствии с номером столбца с измененным знаком назовем X_X-, X_Y- и X_Z-состояниями. Можно показать, что для этих X_C-состояний отличными от нуля оказываются только три пары слагаемых в $M(2,2)$-матрице, расположенных в ее 3×3-блоках аналогично отличным от нуля элементам в 6 недиагональных матрицах Гелл-Манна λ_n. Такие слагаемые соответствуют в калибровочной теории поля взаимодействиям через заряженные векторные бозоны.

X_N-состояния (нейтральные) характеризуются тем, что в них пара или все три столбца из внутренних параметров коллинеарны. В простейшем случае можно положить, что все три вектора (столбца) $\vec{c}'_{(s)}$, где $s = 1, 2, 3$, коллинеарны, т. е. представимы в виде $\vec{c}'_{(s)} = C'_s \vec{c}'$, где $\vec{c}'$ — некоторый 3-вектор, и C'_s — три коэффициента.

Можно показать, что в диагональных слагаемых подматрицы $M(2,2)$ коэффициенты C'_s входят только в виде разностей, то есть независимыми являются лишь две комбинации из них. В качестве таковых можно выбрать следующие две:

$$C' = \frac{1}{2}(C'_1 + C'_2 - 2C'_3); \quad \tilde{C}' = -\frac{1}{2}(C'_1 - C'_2). \tag{12.8.1}$$

Два частных случая: А) $C' \neq 0$; $\tilde{C}' = 0$; и В) $C' = 0$; $\tilde{C}' \neq 0$ определяют два канала: А-канал с соответствующим X_A-состоянием и В-канал с соответствующим X_B-состоянием, которые следует сопоставить с двумя каналами взаимодействий через нейтральные векторные бозоны в калибровочной теории. Две комбинации из коэффициентов в (12.8.5) со-

ответствуют двум диагональным матрицам Гелл-Манна: λ_3 и λ_8 в стандартном представлении.

Приведенные рассуждения характеризуют суть пяти каналов (трех заряженных и двух нейтральных) в известных видах физических взаимодействий.

3. Трактовка промежуточных векторных бозонов. Как уже отмечалось, в данном подходе, соответствующем концепции дальнодействия (Фоккера—Фейнмана), среди первичных понятий нет промежуточных переносчиков взаимодействий (векторных бозонов). Им соответствуют охарактеризованные выше каналы взаимодействий (виды X-состояний элементарных частиц). Для сильных взаимодействий этими каналами определяются 8 глюонов: три пары заряженных глюонов, соответствующих X_X-, X_Y- и X_Z-состояниям, и два нейтральных A- и B-глюона, отвечающих состояниям X_A и X_B. Аналогичным образом интерпретируются «промежуточные» векторные бозоны, «переносящие» электрослабые взаимодействия.

4. Единый принцип описания сильных и электрослабых взаимодействий. В общепринятой калибровочной теории поля для описания взаимодействий фактически используются три вида пространств: 1) внешнее, соответствующее классическому 4-мерному пространству-времени с группой преобразований Лоренца (с группой $SL(2,C)$), 2) внутреннее пространство электрослабых взаимодействий, в котором имеет место группа $SU(2)\times U(1)$ и 3) внутреннее (хроматическое) пространство сильных взаимодействий с группой $SU(3)$. Теория строится по принципу композиции этих пространств, который можно назвать *принципом «кубиков»*.

В бинарной геометрофизике предлагается более экономный подход, основанный на понимании электрослабых и сильных взаимодействий как разных частных случаев единого обобщенного взаимодействия. Переход к электрослабым взаимодействиям осуществляется из общего случая фиксированием одной из строк внутренних параметров в (12.5.1) (пусть это будет строка параметров с индексом 3), когда группа $SL(3,C)$ (или $SU(3)$) допустимых преобразований внутренних параметров сужается до подгруппы $SL(2,C)$ (или $SU(2)$) внутренних параметров с индексами 4 и 5.

5. Причины существования трех поколений элементарных частиц. Имеется три возможности усечения общей теории на случай электрослабых взаимодействий, которые соответствуют наличию трех поколений элементарных частиц. Оказывается, в усеченной теории сохраняют силу изложенные выше соображения о двух типах взаимодей-

ствий — аналогах взаимодействий через заряженные и нейтральные векторные бозоны, с той разницей, что для одного поколения частиц из трех каналов X_C выживает только один, соответствующий взаимодействиям лишь через одну пару заряженных векторных бозонов.

6. Соответствия каналов («полей промежуточных бозонов») в сильных и электрослабых взаимодействиях. *Электромагнитные взаимодействия соответствуют сильным взаимодействиям через нейтральные -глюоны, слабые взаимодействия через нейтральные векторные Z-бозоны — сильным взаимодействиям через нейтральные B-глюоны, а электрослабые взаимодействия через заряженные векторные $W^{\pm}$-бозоны — сильным взаимодействиям через одну из пар заряженных векторных глюонов* (пусть таковыми будут $X^{\pm}$-глюоны).

Отметим, что нечто аналогичное можно усмотреть и в многомерных геометрических моделях физических взаимодействий. При обсуждении 8-мерной геометрической модели грави-сильных взаимодействий было показано, что из обобщенной 8-мерной модели можно получить как сильные, так и электрослабые взаимодействия кварков. В последнем случае необходимо было произвести редукцию, т. е. понижение размерности до семи. Таким образом, имеются далеко идущие аналогии в объединении физических взаимодействий в рамках геометрического и реляционного подходов.

7. Принцип симметрии каналов физических взаимодействий. Изложенные выше процедуры и принципы позволяют единообразно записать прообразы действия (лагранжиана) взаимодействия как сильного, так и электрослабого, барионов через составляющие его элементы, так и электрослабые взаимодействия лептонов, как массивных, так и нейтрино, друг с другом и с барионами (кварками). Эти прообразы строятся в виде комбинаций из произведений 4-скоростей (из внешних параметров) компонент частиц (кварков) с соответствующими коэффициентами из внутренних параметров, имеющими физический смысл зарядов в сильных и электрослабых взаимодействиях. Однако при этом остаются неопределенными количества и значения независимых констант и зарядов в соответствующих взаимодействиях. Этот пробел устраняется при использовании принципа симметрии каналов физических взаимодействий.

Оказывается, для получения известных соотношений между зарядами достаточно знания, во-первых, факта существования названных выше каналов физических взаимодействий, во-вторых, характера присутствия зарядов в соответствующих взаимодействиях (мультипликативности по зарядам во взаимодействиях через нейтральные векторные бо-

зоны и недиагонального характера взаимодействий через заряженные векторные бозоны) и, в-третьих, условий суммарной симметрии названных каналов для всех кварков в сильных взаимодействиях или для левых компонент частиц (кварков или лептонов) в электрослабых взаимодействиях. При этом однозначно показывается, что сильные взаимодействия характеризуются только одной константой, соответствующей константе g_0 в хромодинамике, а электрослабые взаимодействия — двумя константами, соответствующими известным зарядам g_1 и g_2 в модели Вайнберга—Салама—Глэшоу. Более подробно этот вопрос рассмотрен в Приложении.

Отметим, что при этом естественным образом записывается одно соотношение на две константы электрослабых взаимодействий, позволяющее теоретически вычислить значение угла Вайнберга.

12.9. Некоторые выводы и замечания

Принципы монистической парадигмы (аристотелевского триединства) непосредственно выводят на закономерности теории фундаментальных физических взаимодействий (электрослабых и сильных), а не на закономерности квантовой теории, как это можно было ожидать. Это соответствует принципу предельного монизма, сформулированному в главе 4.

Сделаем выводы, наиболее существенные для понимания природы и свойств ключевых категорий физики в триалистической парадигме.

12.9.1. Категория пространства-времени

1. Из бинарной геометрофизики следует, что трехмерность пространства и одномерность времени обусловлены минимальным рангом невырожденной БСКО ранга (3,3).

2. Понятие спинора в бинарной геометрофизике возникает иначе, чем это до сих пор делалось в математике, в физике или в твисторной программе Пенроуза. Элементы БСКО ранга (3,3) по своей природе описываются 2-компонентными спинорами и не нуждаются в дополнительных постулатах, как это делается в теории Пенроуза. Более того, в рамках бинарной геометрофизики возникает новый канал обобщения 2-компонентных спиноров, которые могут обладать тремя, пятью и т. д. компонентами. Они названы финслеровыми спинорами.

3. На самом элементарном уровне сначала возникают понятия импульсного, а не координатного пространства. В частности, в соответствии с принципами многомерных геометрических моделей Калуцы—

Клейна, заряды элементарных частиц имеют тот же характер, что и 4-мерные импульсы.

12.9.2. Категория частиц

1. В бинарной геометрофизике кварки, массивные лептоны и нейтрино описываются единообразно через тройки элементов БСКО ранга (6,6). Их отличие состоит в разном числе нулевых значений внешних параметров.

2. В современном понимании понятие размерности имеет топологический характер. В основе бинарной геометрофизики лежит дискретное множество элементов, где геометрическая размерность заменяется понятием ранга — числами элементов, входящих в закон бинарной системы комплексных отношений.

12.9.3. Взаимодействия и категория полей переносчиков взаимодействий

1. Согласно бинарной геометрофизике физические взаимодействия являются проявлениями того факта, что ранг БСКО, описывающей физическое мироздание, больше ранга (3,3), необходимого для описания свободных (идеализированных) частиц. Имеет место бинарное многомерие, соответствующее принципам многомерных геометрических моделей типа теории Калуцы—Клейна.

2. Лагранжианы (действия) взаимодействия стандартных теорий поля в бинарной геометрофизике соответствуют многомерному объему БСКО ранга (6,6) — так называемому базовому 6×6-отношению.

3. В бинарной геометрофизике прообразы как сильных, так и электрослабых взаимодействий описываются одним и тем же базовым 6×6-отношением, причем электрослабые взаимодействия понимаются как некая спецификация (частный случай) сильных взаимодействий. Это определяет новый подход к объединению электрослабых и сильных взаимодействий.

4. Среди первичных понятий бинарной геометрофизики отсутствуют бозонные поля — переносчики взаимодействий. Их можно ввести на некотором этапе развития теории как вспомогательные, производные, понятия в духе теории прямого межчастичного взаимодействия Фоккера—Фейнмана.

5. На самом элементарном уровне отсутствует прообраз гравитационных взаимодействий, что соответствует высказываниям ряда авторов

об особом, индуцированном характере гравитационных взаимодействий, о чем будет сказано в следующей главе.

В рамки этой книги не входит подробное изложение теории взаимодействий элементарных частиц (см. [27, 28]). Некоторые результаты, касающиеся значений зарядов элементарных частиц, вынесены в приложение.

Следует особо подчеркнуть, что в этой главе рассматривалось элементарное звено процесса взаимодействия относительно простейших базисов без учета материи и событий окружающего мира. Можно выразить удивление, что уже на этом простейшем уровне уже удается приблизиться к важным закономерностям физики элементарных частиц.

Глава 13

От триединства мира к категориям физики

В предыдущей главе были проанализированы основания физической теории, соответствующие аристотелевскому принципу триединства мира. Далее необходимо показать, как осуществляется обратный переход от элементарных понятий бинарной геометрофизики к привычным представлениям физики, в частности, к классическому пространству-времени, полям переносчиков взаимодействий и другим понятиям и закономерностям известных физических теорий. Иначе говоря, необходимо описать обратный путь от монистической парадигмы к дуалистическим и триалистической парадигмам физики. Принципиальные моменты решения этой задачи имеют метафизический характер и могут быть проиллюстрированы с помощью рисунка 13.1.

При решении данной задачи важную роль играет *идея о макроскопической (статистической) природе классического пространства-времени* и других сопутствующих понятий общепринятой физики. Она состоит в том, что классические понятия справедливы лишь для достаточно больших (сложных) систем из элементарных частиц — макросистем — и возникают в результате своеобразного наложения (суммирования) огромного количества факторов, присущих микрообъектам. Согласно данному подходу многие привычные понятия физики можно уподобить таким понятиям термодинамики как давление или температура.

В этой главе на основе рассмотрения метафизических аспектов макроскопического подхода к природе пространства-времени делается вывод, согласно которому факторами, подлежащими суммированию, являются комплексные отношения между элементами, среди которых главную роль играют параметры элементов БСКО минимального ранга (2,2), выделяемые из отношений БСКО ранга (6,6).

Кроме того, здесь представлена совокупность процедур, превращающих суммы базовых 6×6-отношений (бинарных объемов бинарной гео-

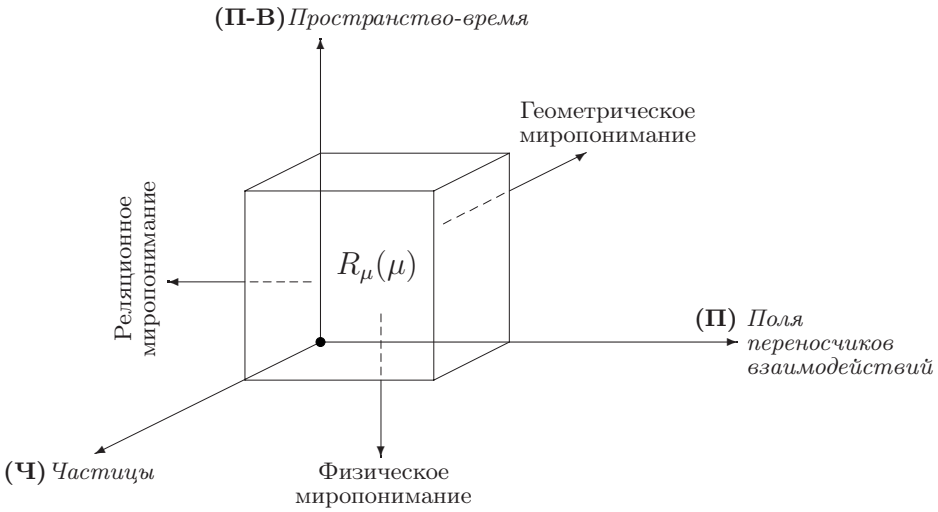

Рис. 13.1. Переход от элементарной бинарной геометрофизики к известным теориям трех миропониманий

метрии) в смещения выделенной частицы или в квадрат интервала между двумя событиями классического пространства-времени Минковского.

В ходе формирования (вывода) категории пространства-времени выделяется также категория полей переносчиков взаимодействий и проявляются свойства категории частиц, описываемые квантовой теорией.

Предложенная система физического мироздания позволяет под новым углом зрения взглянуть на ряд принципиальных проблем общей теории относительности, квантовой теории и на путь совмещения их принципов.

13.1. Макроскопическая природа пространства-времени

Необходимость формирования (вывода) классического (координатного) пространства-времени из каких-то более первичных понятий признается далеко не всеми. Так, Ю.И.Кулаков, автор теории физических структур, считает ее лишенной смысла, полагая достаточным наличие двух унарных физических структур вещественных отношений рангов (5) и ранга (3), существующих в «мире высшей реальности». Напомним, в его подходе задача теоретиков заключается лишь в расшифровке (переформулировке) физических закономерностей в терминах структур того или иного ранга.

Однако некоторые исследователи пришли к необходимости решения подобной задачи, исходя из логики развития квантовой теории и физики микромира. Так в монографии М. Б. Менского, посвященной анализу принципов квантовой теории, говорится: «Теперь мы оказываемся перед лицом самого трудного и интригующего вопроса: как появляются классические черты у исходно квантового мира. В известном смысле, в наше время это очень простой вопрос. С другой точки зрения — он труден и все еще не решен, и даже может оказаться вообще неразрешимым» [81, с. 197]. В сделанном примечании отмечается: «Мы не будем обсуждать альтернативный взгляд, что наш мир не является исходно квантовым, потому что его квантовый характер на фундаментальном уровне подтверждается многочисленными физическими экспериментами (это, конечно, не является окончательным доказательством)». М. Б. Менский предлагает путь решения этого вопроса в рамках фейнмановского подхода к описанию открытых систем (на основе суммирования по путям-историям).

В работах ряда авторов обсуждалась возможность подхода к данной проблеме на основе идеи о макроскопической природе классического пространства-времени. Трудно сказать, кому принадлежит приоритет выдвижения данной идеи, но она высказывалась многими известными физиками-теоретиками и математиками XX века. В частности, ее можно усмотреть в приведенном в разд. 12.1 высказывании одного из создателей квантовой механики Луи де Бройля. Более четко эта мысль высказывалась и Д. ван Данцигом: «Можно быть склонным рассматривать метрику, как описывающую некое «нормальное» состояние материи (включая излучение), и дать ей *статистическую* интерпретацию как некоторый вид среднего физических характеристик окружающих событий, вместо того, чтобы класть ее в основу всей физики» [40].

О том же писал Е. Циммерман в своей работе «Макроскопическая природа пространства-времени»: “Пространство и время не являются такими понятиями, которые имеют смысл для отдельных микросистем. (...) Наиболее фундаментальным следствием взаимодействия огромного числа таких микросистем является образование пространственно-временной решетки, которая приводит к справедливости классических понятий пространства и времени, но только в макроскопической области» [136].

Неоднократно высказывался по этому вопросу наш соотечественник, известный геометр П. К. Рашевский, пришедший к данной идее со стороны геометрии. В монографии «Риманова геометрия и тензорный анализ» он писал: «Между тем трудно сомневаться в том, что макроскопи-

ческие понятия, в том числе и наши пространственно-временные представления, на самом деле уходят своими корнями в микромир. Когда-нибудь они должны быть раскрыты как некоторый статистический итог, вытекающий из закономерностей этого мира — далеко еще не разгаданных — при суммарном наблюдении огромного числа микроявлений» [98, с. 258]. Далее он повторяет эту мысль: «Возможно, что и сам четырехмерный пространственно-временной континуум с его геометрическими свойствами окажется в конечном счете образованием, имеющим статистический характер и возникающим на основе большого числа простейших физических взаимодействий элементарных частиц» [98, с. 658].

В последней трети XX века была предпринята попытка вывести модель классического пространства-времени из физики микромира на основе твисторной программы Р. Пенроуза [89, 113]. В одной из статей Р. Пенроуза с сотрудниками писалось: «В предшествующих работах (Р. Пенроуза — Ю. В.) было показано, что можно ввести понятие евклидова пространства, исходя из предела вероятности взаимодействия большой сети частиц, квазистатически обменивающихся спинами. При таком подходе евклидова структура возникает из комбинаторных правил, которым удовлетворяет полный угловой момент в релятивистской квантовой механике. (...) Мы надеемся, что развитие твисторной теории приведет в конечном счете к построению лоренцевых многообразий, которые будут служить моделями пространства-времени» [113, с. 132].

В приведенных высказываниях, как правило, не называются факторы из физики микромира, которые должны суммироваться, за исключением твисторной программы Пенроуза, где таковыми являются твисторы.

Идея о макроскопической природе пространства-времени и других понятий физики содержит в себе зерно редукционистского подхода к мирозданию. Подразумевается, что из единого целого можно выделить отдельные микроскопические части и из неких присущих им факторов путем их суммирования (наложения) вывести известные физические категории пространства-времени, полей переносчиков взаимодействий и частиц. Заметим, что редукционистский подход содержится и в принципах бинарной геометрофизики, где факторами, подлежащими суммированию, являются комплексные отношения между элементами двух множеств БСКО ранга (6,6).

Таким образом, в бинарной геометрофизике проявляются оба подхода к мирозданию: холистский и редукционистский. Последний выражается в выделении из всего мироздания отдельных элементов (частиц) и эталонных базисов, а холистский подход — в неразрывности множеств

элементов и отношений, а также в самом принципе фундаментальной симметрии, позволяющем конкретизировать вид закона и парных отношений.

Можно сказать, что решение задачи выделения трех ключевых категорий триалистической парадигмы из триединого (холистского) первоначала, положенного в основу бинарной геометрофизики, определяется делимостью на части двух множеств БСКО в совокупности с (редукционистской) идеей о макроскопическом характере привычных категорий физики.

13.2. Архитектоника бинарной геометрофизики

К характерным подмножествам элементов простейшего акта эволюции, составляющим первую и вторую взаимодействующие частицы и элементарный базис, следует добавить подмножество, образованное всеми другими элементами мира, не вошедшими в эти три подмножества. Другими словами, для перехода к понятиям макрофизики необходимо учесть весь комплекс элементов мироздания, которые делятся на подмножества, изображенные на рисунке 13.2: 1) две взаимодействующие частицы, 2) базис, относительно которого описывается взаимодействие, и 3) весь окружающий мир. Первые два из указанных подмножеств могут быть простыми (в виде отдельных частиц) или достаточно сложными вплоть до макрообъектов, тогда как добавленное третье подмножество по своему определению является чрезвычайно сложным.

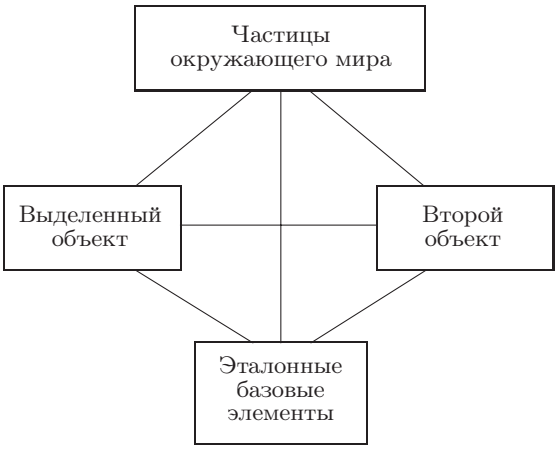

Рис. 13.2. Подмножества элементов физического мира, участвующих в любом процессе

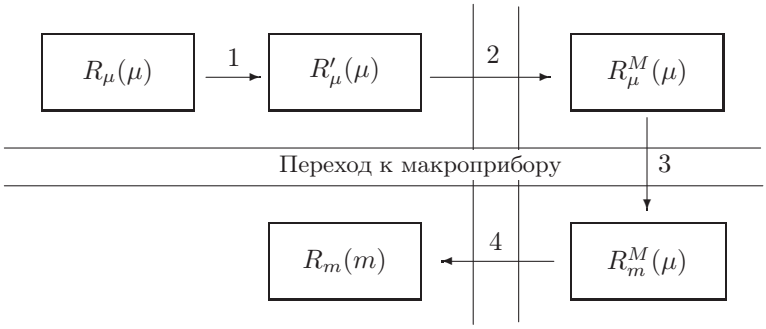

Рис. 13.3. Четыре шага от элементарного уровня $R_\mu(\mu)$ до классической физики $R_m(m)$

Согласно идее о макроскопической природе классического пространства-времени, необходимо перейти от элементарной теории $R_\mu(\mu)$ к теории, в которой, во-первых, учитываются все множества элементов, и, во-вторых, все эти множества достаточно велики (представляют макрообъекты). Для этого нужно сделать четыре шага, поясненные на рисунке 13.3. Этот путь описан в нашей книге [28] на базе упрощенной модели в рамках БСКО ранга (4,4).

Первый шаг состоит в переходе от общих понятий теории БСКО ранга (6,6) с абстрактными элементами к прообразам действия (лагранжиана) взаимодействующих частиц и других физических понятий. Этот шаг, описанный в предыдущей главе, можно охарактеризовать как переход $R_\mu(\mu) \to R'_\mu(\mu)$, где $R'_\mu(\mu)$ олицетворяет физически осмысленную теорию.

Как было показано, на этом этапе, описываемом лишь средствами алгебры, нет классического пространства-времени и многих сопутствующих ему макропонятий: нет метрики, причинности, мировых линий частиц, отсутствуют понятия волновых функций частиц и полей — переносчиков взаимодействий, нет пропагаторов полей и сингулярных функций, доставивших столь много хлопот физикам в XX веке. Нет многого другого, без чего не мыслится общепринятая теория поля. Наконец, на этом уровне отсутствуют гравитационные взаимодействия.

Следующие три шага содержат суммирования, т. е. наложения «неких факторов», о которых говорили сторонники развития идеи о макроскопической природе пространства-времени. Оказалось, что за простым наложением (сложением) факторов кроется три вида сложений, обусловленных расщеплением множества элементов на три подмножества: 1) суммирование по всем элементам окружающего мира, 2) сум-

мирования по элементарным базисам, составляющим макроприбор, и 3) суммирования по элементам, описывающим макрообъекты. Все эти суммирования упоминались ранее при рассмотрении различных миропониманий: 1) в реляционном миропонимании — при описании теории мирового поглотителя Фейнмана—Уилера (принципа Маха), 2) в физическом миропонимании — при описании принципа суперпозиции векторов состояния в аксиоматике гильбертова пространства, 3) в триалистической парадигме — при обсуждении атомарной структуры макрообъектов.

Отметим важное обстоятельство: при реализации данной программы оказался существенным выбор порядка проведения трех названных процедур суммирования, — их следует осуществлять в приведенном здесь порядке.

Второй шаг, состоящий в учете всех окружающих частиц мира, т. е. того, что в современной литературе принято называть принципом Маха, можно представить как переход $R'_\mu(\mu) \to R^M_\mu(\mu)$, где к двум ранее указанным факторам добавлен еще один — внешний мир, обозначенный значком M сверху. Основная идея этого шага состоит в переходе от одного базового 6×6-отношения к сумме таких базовых отношений, обязательно содержащих фиксированное число элементов выделенной (первой) частицы в каждом из двух множеств элементов и элементы всего окружающего мира, по которым производится суммирование.

В итоге возникают гигантские суммы из слагаемых, соответствующих всему окружающему миру. В теории поглотителя Уилера—Фейнмана в рамках теории прямого межчастичного взаимодействия Фоккера—Фейнмана такие суммы аппроксимируются интегрированием по материи, равномерно распределенной по всему пространству.

Третий шаг состоит в переходе от элементарных базисов μ к достаточно сложным системам из базисных элементов — в пределе к макроприбору m: $R^M_\mu(\mu) \to R^M_m(\mu)$. Здесь возникает еще одно суммирование — уже по элементарным базисам, составляющим макроприбор, которое осуществляется в соответствии с принципом суперпозиции векторов состояний в квантовой теории и аппроксимируются интегрированием по импульсам передачи от одних объектов к другим. Эти суммы соответствуют интегралам Фурье в общепринятых представлениях потенциалов векторных полей.

Только после проведения третьего этапа возникает возможность говорить о волновых функциях спинорных частиц и о бозонных полях — переносчиках взаимодействий. На этом же этапе возникают понятия запаздывающих и опережающих взаимодействий (потенциалов). Послед-

ние устраняются в согласии с процедурой Фейнмана—Уилера посредством учета абсолютного мирового поглотителя.

Таким образом, квантовая механика и сопутствующие ей понятия: принцип суперпозиции, гильбертово пространство, сингулярные функции и другие — возникают лишь на третьем шаге (этапе) перехода от элементарного уровня бинарной геометрофизики к классической физике.

Четвертый шаг состоит в переходе от рассмотрения микрочастиц к описанию макрообъектов: $R^M_m(\mu) \to R^M_m(m)$, что приводит к классической механике. Это достигается суммированием (усреднениями) по всем частицам, составляющим макрообъекты. Строго говоря, только после этого этапа можно говорить о построении классического пространства-времени из первичных отношений. Только здесь возникают понятия расстояний и промежутков времени, которые имелись в виду в предыдущем пункте, когда говорилось о волновых функциях и потенциалах бозонных полей-переносчиков взаимодействий.

Таким образом, переход от монистической парадигме к триалистической осуществляется последовательно: через реляционное миропонимание к прообразу понятий геометрического миропонимания и затем, на основе закономерностей физического миропонимания, достигается привычная классическая физика с тремя ключевыми физическими категориями. Эта последовательность является обратной той, в которой анализировались теории трех миропониманий. На китайской системе триграмм указанный порядок соответствует последовательному спуску через смешанные триграммы трех уровней от верхней триграммы к нижней.

13.3. Факторы суммирования: фазы как элементы БСКО ранга (2.2)

В предыдущей главе при рассмотрении элементарного акта взаимодействия двух частиц в тени оказались экспоненциальные части внешних параметров элементов, играющие ключевую роль при проведении суммирований всех трех видов. Они соответствуют параметрам элементов простейшей БСКО ранга (2,2), здесь еще не обсуждавшейся, которая ответственна за появление категории (координатного) пространства-времени.

Согласно общей формуле (11.5.2), теории бинарных систем отношений закон БСКО ранга (2,2) имеет вид

$$\Phi_{(2,2)} = \begin{vmatrix} u_{i\alpha} & u_{i\beta} \\ u_{k\alpha} & u_{k\beta} \end{vmatrix} = 0, \ \to \quad u_{i\alpha}u_{k\beta} = u_{k\alpha}u_{i\beta}, \tag{13.3.1}$$

где парное отношение определяется единственными параметрами каждой из частиц

$$u_{i\alpha} = i^1\alpha^1. \tag{13.3.2}$$

Прологарифмировав правое выражение в (13.3.1) и введя обозначения типа

$$\ln u_{i\alpha} = Ca_{i\alpha}, \tag{13.3.3}$$

где C — некая универсальная константа, приходим к соотношению

$$a_{i\alpha} + a_{k\beta} - a_{k\alpha} - a_{i\beta} = 0 \to \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & a_{i\alpha} & a_{i\beta} \\ 1 & a_{k\alpha} & a_{k\beta} \end{vmatrix} \equiv \tilde{\Phi}_{(2,2;a)} = 0. \tag{13.3.4}$$

Это есть не что иное, как закон вырожденной бинарной системы отношений (11.5.4) ранга (2,2;a), где новые отношения $a_{i\alpha}$ представляются в виде

$$a_{i\alpha} = \frac{1}{C}(\ln i^1 + \ln \alpha^1) \equiv i_0 + \alpha_0. \tag{13.3.5}$$

Именно по этой причине говорят, что БСКО минимального ранга (2,2) является вырожденной, т. е. как бы одновременно выступает в двух лицах: как обычная с мультипликативными выражениями (13.3.1) и (13.3.2) и как вырожденная с аддитивными соотношениями (13.3.4) и (13.3.5). Эти *два лика БСКО минимального ранга соответствуют квантовому и классическому аспектам теории.*

Но прежде следует пояснить, откуда возникает в излагаемой здесь теории сама БСКО ранга (2,2). Оказывается, ее не нужно специальным образом вводить, так как она является подсистемой БСКО ранга (3,3), уже выделенной ранее из полной БСКО ранга (6,6). Действительно, закон (12.4.1) БСКО ранга (3,3) будет по-прежнему выполняться, если произвести следующее преобразование параметров элементов:

$$\begin{array}{lll} i^s \to \tilde{i}^s = C_i i^s; & k^s \to \tilde{k}^s = C_k k^s; & j^s \to \tilde{j}^s = C_j j^s; \\ \alpha^s \to \tilde{\alpha}^s = C_\alpha \alpha^s; & \beta^s \to \tilde{\beta}^s = C_\beta \beta^s; & \gamma^s \to \tilde{\gamma}^s = C_\gamma \gamma^s, \end{array} \tag{13.3.6}$$

где $C_i, \cdots, C_\gamma$ — некоторые комплексные числа, сопоставляемые с соответствующими элементами. Именно они представляют собой параметры элементов новой БСКО ранга (2,2).

Из общих положений теории БСКО ранга (3,3) можно сделать вывод: параметры элементов подсистемы ранга (2.2) должны быть по модулю равными единице ($i^1 = \exp(i\varphi_i)$, $\alpha^1 = \exp(i\varphi_\alpha)$), т. е. они могут

отличаться друг от друга лишь фазой. На этом основана интерпретация параметров БСКО ранга (2,2): *показатель экспоненты интерпретируется как прообраз классического действия* S. Поскольку БСКО ранга (2,2) выделяется из БСКО ранга (3,3), то естественно связать параметры этих систем отношений, представив показатель экспоненты в виде

$$\varphi_k \equiv CS = Cp_\mu x^\mu, \tag{13.3.7}$$

где C — константа, p_μ — компоненты ранее введенного импульса частицы, а x^μ — некоторые коэффициенты, выступающие как прообраз координат пространства-времени.

Так как в экспоненте оказывается размерная величина (действие S), в нее введен некоторый универсальный коэффициент, обратный размерности действия. Из указанной аналогии ясно, что таковым должна быть постоянная Планка $\hbar$ в знаменателе. Этому эквивалентно постулирование следующего значения для выше введенной константы в (13.3.3): $C = 1/\hbar$.

Ранее было показано, что 4-компонентный столбец из параметров элементов i^s и β_s, описывающих одну частицу, представляет собой прообраз биспинорной волновой функции. Преобразование (13.3.6) можно интерпретировать как разбиение фермионных волновых функций на частотную и спинорные части, используемые в стандартной квантовой теории поля (см., например, [9]).

Понятие фазы, интерпретируемой через классическое действие, играет в бинарной геометрофизике чрезвычайно важную роль. Именно оно ответственно, во-первых, за переход к координатному пространству-времени и, во-вторых, за проявление волновых свойств частиц и полей.

В связи с этим следует вспомнить, что Дж. Уилер, работая в рамках геометрического миропонимания, неоднократно подчеркивал важную роль фазы в структуре мироздания. Он писал: «Однако Природа умеет «вести учет». Значит, если Природа сводится к геометрии, «фаза» также должна быть сводима к геометрии ... Не впадает ли эта теория (исконно единая теория поля — Ю. В.) в чрезмерную узость, используя исключительно средства *дифференциальной* геометрии — геометрии в непосредственной окрестности точки? Не является ли ее пороком невозможность признания общности между отдаленными точками? Не являются ли обычные геометрические средства непригодными потому, что они, так сказать, вводят слишком много точек и допускают различимость этих точек в качестве постулата, не подлежащего сомнению? Не существует ли какой-либо возможности отбросить подобные неудачные основы и все же сохранить существенные черты глобальной структуры? (...) Су-

ществование в основных законах классического пространства-времени величины такого типа как относительная «фаза» двух отдельных точек приводит исследователей, ищущих чисто геометрическое описание природы, к заключению, что понятие «фазы» еще не нашло своего наиболее удачного геометрического средства выражения» [115, с. 61]. Изложенное выше можно понимать как ответ на поставленные Дж. Уилером вопросы.

В бинарной геометрофизике имеет место обратный традиционному порядок определения основных понятий механики. В общепринятой теории исходят из готового координатного пространства-времени, т. е. из известных координат частиц (x^μ), затем вводится понятие импульса (p_μ), и только потом из импульса и координат определяется классическое действие (S):

$$x^\mu \to p^\mu \to S. \tag{13.3.8}$$

В бинарной геометрофизике, наоборот, более первичными являются импульс (из БСКО ранга (3,3)) и действие (из БСКО ранга (2,2)), а затем из них выводятся понятия (прообразы) координат и категория пространства-времени:

$$(p^\mu \ \oplus \ S) \quad \to \quad x^\mu. \tag{13.3.9}$$

13.4. Прообраз метрики пространства-времени

Напомним, что базовое 6×6-отношение, введенное в бинарной геометрофизике, является прообразом трех ключевых понятий современной теоретической физики: 1) действия (и родственных ему лагранжиана и гамильтониана), 2) S-матрицы в теориях физического миропонимания и 3) многомерной метрики в геометрическом миропонимании.

Анализ показал (см. [27, 28]), что на втором шаге от монистической парадигмы к триалистической возникает прообраз многомерной метрики теорий Калуцы—Клейна и закладываются основы перехода от алгебраической формы бинарной геометрофизики к общепринятой теории, формулируемой на основе дифференциального исчисления.

На каждое базовое 6×6-отношение (или 4×4-отношение в упрощенной модели) можно смотреть как на прообраз квадрата интервала многомерной метрики в теориях Калуцы—Клейна, поскольку скорости (импульсы) выделенной частицы входят в него квадратично. Чтобы в этом убедиться, компоненты 4-мерных скоростей (импульсов) следует представить в форме dx^μ/ds, а заряды частиц, записанные через дополнительные параметры отношений, представить в виде дополнитель-

ных компонент метрики dx^5/ds (для электрического заряда), dx^6/ds и т. д. После этого переобозначения и умножения на формально введенный множитель ds^2 базовое 6×6-отношение примет вид квадратичной формы из смещений выделенной частицы. Подробности соответствующих выкладок рассмотрены в нашей монографии [28].

Далее в каждом из базовых 6×6-отношений следует произвести процедуру $4+1+\ldots$-расщепления, соответствующую разложению (расщеплению) БСКО ранга (6,6) на две подсистемы рангов (3,3) и (4,4). В рамках многомерной теории Калуцы—Клейна эта процедура соответствует применению монадного, диадного, ..., s-адного методов расщеплений n-мерного многообразия на 4-мерное классическое пространство-время и ортогональные ему дополнительные размерности.

После процедуры расщепления возникают прообразы компонент 4-мерной искривленной метрики, определяемой суммой метрики пространства Минковского и квадратичных вкладов от смешанных компонент метрики, что соответствует виду 4-мерной метрики в теориях Калуцы—Клейна. При этом смешанные компоненты метрики следует по-прежнему интерпретировать как элементарные прообразы потенциалов электромагнитного и других «промежуточных векторных полей».

Суммирование базовых 6×6*-отношений с участием всех других элементов (частиц) окружающего мира следует производить после процедуры расщепления.* Это приводит к тому, что как электромагнитное, так и гравитационное взаимодействия определяются одними и теми же вкладами, только для электромагнитного взаимодействия они суммируются линейно, а для гравитационного взаимодействия — квадратично.

Чтобы осознать вытекающие из этого следствия, вернемся к виду 4-мерной метрики $g_{\mu\nu}$ и электромагнитного векторного потенциала A_μ в 5-мерной теории Калуцы

$$A_\mu = G_{5\mu}c^2/(2\sqrt{G}); \quad g_{\mu\nu} = G_{\mu\nu} + 4GA_\mu A_\nu/c^4. \tag{13.4.1}$$

Здесь G — ньютоновская гравитационная постоянная, G_{AB} — компоненты 5-мерного метрического тензора. Формально получается связь 4-мерной метрики и векторного потенциала, на что обращал внимание всякий изучавший теорию Калуцы, однако в ней вывод об определении $g_{\mu\nu}$ через A_μ исключался, так как в формуле (13.4.1) присутствуют еще неопределенные компоненты $G_{\mu\nu}$, в которые могли входить компенсационные вклады от электромагнитного поля. В бинарной же геометрофизике компоненты прообраза $G_{\mu\nu}$ оказываются фиксированными.

В теории Калуцы A_μ можно приближенно трактовать как сумму вкладов отдельных зарядов, которая в определении $g_{\mu\nu}$ возводится в

квадрат, тогда как в бинарной геометрофизике сначала производится $1+4$-расщепление вклада для каждой частицы (заряда), а затем суммируются квадратичные вклады. Как известно, квадрат суммы не равен сумме квадратов. В итоге 4-мерный метрический тензор может быть отличен от нуля даже в случае равного нулю результирующего значения электромагнитного векторного потенциала.

Поскольку в бинарной геометрофизике электромагнитное и гравитационное «поля» (компоненты метрики) слагаются из одних и тех же факторов, то можно сказать, что *гравитационное взаимодействие обусловлено электромагнитным, т. е. имеет вторичный, индуцированный, характер*. Этот результат, совпадающий с выводом А. Д. Сахарова, сделанным на основе совершенно иных соображений, определяет новый взгляд на природу гравитации и на сущность многих проблем современной теории гравитации. Назовем некоторые из таких проблем.

1. *Меняется понимание сути проблемы квантования гравитации.* Поскольку в бинарной геометрофизике гравитационные взаимодействия имеют вторичный характер, обусловленный электромагнитными взаимодействиями, то оказывается бессмысленным введение особых квантов гравитационного поля — гравитонов — по образу и подобию квантов фотонов и других бозонных переносчиков взаимодействий.

2. *Возникает иной взгляд на смысл уравнений Эйнштейна.* Так как в данном подходе предлагается конкретный путь получения 4-мерной метрики без опоры на классические представления, в том числе и без использования уравнений Эйнштейна, то в бинарной геометрофизике возникает обратная задача — доказательство выполнимости уравнений Эйнштейна для введенной метрики. Эта задача подобна той, которая решается в теориях прямого межчастичного взаимодействия. Например, в теории прямого межчастичного электромагнитного взаимодействия Фоккера—Фейнмана уравнения Максвелла становятся тождествами. В наших работах с А. Ю. Турыгиным [23] показано, что в аналогичной теории прямого гравитационного взаимодействия уравнения Эйнштейна являются тождествами в любом порядке разложения по ньютоновской гравитационной константе G. В бинарной геометрофизике нетрудно показать, что в низших приближениях уравнения Эйнштейна также выполняются. Однако, это не означает, что справедливо обратное утверждение: что все решения классических уравнений Эйнштейна дают метрики, к которым приводит бинарная геометрофизика.

3. *Достигается обоснование плодотворности (привлекательности) идей Т. Калуцы, О. Клейна, Ю. Б. Румера и других авторов о многомерности геометрии физического пространства-времени.* Оно опирается

на то, что в рамках бинарной геометрофизики физические взаимодействия описываются БСКО более высоких рангов, нежели ранг (3,3), то есть истоком общепринятого (унарного) многомерия является бинарное многомерие.

4. *Становится понятной компактифицированность дополнительных размерностей в теориях Калуцы—Клейна.* Как уже отмечалось, вряд ли возможно обосновать компактификацию дополнительных размерностей классическими геометрическими методами. В исследованиях по теории Калуцы—Клейна обычно исходят из ничем не оправданной посылки о первичности некомпактифицированных координатных размерностей и пытаются объяснить компактификацию части из них. В бинарной геометрофизике, наоборот, предлагается обоснование четырех классических некомпактифицированных размерностей, исходя, можно сказать, из первично компактифицированных понятий. При этом оказывается, что многомерным является импульсное пространство. Координатный партнер имеется лишь для четырех импульсных компонент. С точки зрения бинарной геометрофизики процедура компактификации дополнительных координатных размерностей означает всего лишь такое исправление исходных положений, при котором бы дополнительные координаты пропали, а соответствующие им импульсы остались. Это достигается постулированием циклической зависимости от лишних координат.

5. С позиций бинарной геометрофизики, *следует усомниться в физической обоснованности вариационных принципов в многомерных геометрических моделях до проведения процедуры 4-мерной редукции*, а, следовательно, и в правомерности использования многомерных уравнений Эйнштейна. Строго говоря, вариационные методы можно применять, когда введено классическое координатное пространство-время. Еще раз подчеркнем, что координатное пространство выводится только для четырех размерностей и отсутствует для дополнительных импульсных компонент.

Имеются и другие следствия.

13.5. Макроприбор и происхождение понятия расстояния

Понятие смещения одной частицы определялось для двух состояний (положений) одной частицы. По всем другим частицам производилось суммирование. Перейдем к рассмотрению *отношения между неким собы-*

тием с участием выделенной частицы (1) и каким-то событием с участием другой частицы (2). На самом элементарном уровне такие отношения (взаимодействия) рассматривались в предыдущей главе. Здесь же необходимо выделить экспоненциальные слагаемые и перейти к рассмотрению сумм базовых 6×6-отношений, содержащих как данные частицы, так и частицы окружающего мира. Выделим из этих сумм слагаемые, соответствующие смешанным компонентам метрики (для электромагнитного взаимодействия) в определенном выше смещении первой частицы. Учитывая уже проведенную процедуру расщепления, легко убедиться, что оно по своему виду будет напоминать слагаемые, описывающие фоккеровский принцип в теории прямого межчастичного электромагнитного взаимодействия (10.3.2) с той разницей, что пока отсутствует интегрирование. Однако оно возникает при переходе от одного элементарного базиса к их системе, составляющей макроприбор, т. е. на третьем шаге от монистической к триалистической парадигме.

Не вдаваясь в математические тонкости всех вычислений, изберем обратный ход рассуждений и поясним в фоккеровском принципе действия происхождение всех входящих в него факторов, исходя из понятий бинарной геометрофизики.

Напомним, что в фоккеровском принципе действия под знаком интеграла стоит выражение

$$j^{\mu}_{(1)}j_{(2)\mu}\delta(s^2(1,2)) = u^{\mu}_{(1)}u_{(2)\mu}e_1e_2\delta(s^2(1,2)), \qquad (13.5.1)$$

содержащее три существенных слагаемых:

а) *скалярное произведение 4-скоростей* (4-импульсов) двух частиц $u^{\mu}_{(1)}u_{(2)\mu}$: эти выражения возникают из внешних параметров, т. е. из параметров БСКО ранга (3,3) (см. главу 12);

б) *электрические заряды* e_1 и e_2 двух частиц, возникающие из дополнительных (внутренних) параметров БСКО ранга (6,6) (см. главу 12);

в) *δ-функция или функция Грина*, связывающая положения двух частиц. Это принципиально новый момент, который ранее не рассматривался. Но именно этот фактор тесно связан с понятием расстояния, с идеей пространственно-временной разнесенности частиц. Остановимся на нем подробнее.

Причинная функция Грина, возникающая в физическом миропонимании, отличается от δ-функции, фигурирующей в фоккеровском принципе действия (в реляционном миропонимании). Это отличие снимается учетом в теории прямого межчастичного взаимодействия вкладов в пар-

ное взаимодействие со стороны всех других частиц окружающего мира. Выпишем результирующее выражение для функции Грина

$$\delta(s^2(1,2)) \to D_0^c(x_1 - x_2) = -\frac{1}{(2\pi)^4}\int \frac{\exp[\frac{i}{\hbar}k_\mu(x_1^\mu - x_2^\mu)]}{k^2 + i\epsilon}d^4k, \quad (13.5.2)$$

где k_μ — изотропный вектор передачи импульса, или импульс электромагнитного излучения на языке теории поля. Выражение $i\epsilon$ фактически описывает влияние других частиц мира и математически определяет контур интегрирования в комплексной плоскости. Очевидно, что $(x_1^\mu - x_2^\mu)$ — разность координат двух взаимодействующих частиц.

Для получения пропагатора (13.5.2) в рамках бинарной геометрофизики следует обосновать появление следующих четырех составляющих третьего слагаемого:

1) вектора передачи импульса k_μ;
2) экспоненциального слагаемого в числителе подинтегрального выражения в (13.5.2);
3) знаменателя в подинтегральном выражении;
4) процедуру интегрирования по k.

К названным факторам еще следует добавить пятый, позволяющий исключить опережающие взаимодействия. Таким фактором является учет взаимодействия с частицами окружающей Вселенной.

Поясним появление всех этих факторов с позиций бинарной геометрофизики.

1. В результате взаимодействия внешние параметры частиц изменяются, т. е. параметры начальных и конечных состояний уже не являются комплексно сопряженными величинами. Как следствие этого, 4-мерные импульс частицы до взаимодействия p_μ отличаются от импульса частицы p'_μ после взаимодействий. Разность этих импульсов $p'_\mu - p_\mu = k_\mu$ определяет импульс передачи.

2. Экспоненциальное слагаемое $\exp[(i/\hbar)k_\mu(x_1^\mu - x_2^\mu)]$ возникает из параметров БСКО наименьшего ранга (2,2), о которых было сказано выше. Разность в экспонентах обусловлена тем, что во всех выражениях присутствуют комбинации параметров из начальных и конечных состояний, отличающиеся знаками экспонент.

3. Третий фактор — знаменатель в подинтегральном выражении (13.5.2) — имеет геометрическое происхождение. Дело в том, что электромагнитный вклад (потенциал) выделяется из квадратичной формы, получаемой из базового 6×6-отношения в виде прообраза смешанной компоненты метрики $\tilde{G}_{5\mu}$. Для перехода к физически интерпретируемым

выражениям необходимо использовать монадный (диадный) метод, который предполагает деление смешанной компоненты на диагональную компоненту метрики $\tilde{G}_{44}$ в согласии с формулой (8.4.2) из геометрического миропонимания. В [28] показано, что это выражение как раз имеет вид квадрата вектора передачи импульса и некоторого добавочного выражения.

4. *Для перехода к общепринятой теории необходимо произвести суммирование по всем элементарным базисам, составляющим макроприбор, что аппроксимируется переходом к плотности распределения по импульсам передачи и интегрированием по* d^4k. Именно это и обосновывает последний фактор в определении сингулярной функции. В итоге получаем выражение [28]

$$\delta(s^2(1,2)) \to -\frac{1}{(2\pi)^4}\int\limits_{-\infty}^{+\infty}\frac{\exp[\frac{i}{\hbar}k_\mu(x_1^\mu - x_2^\mu)]}{k_\beta k^\beta + i\varepsilon}d^4k = D_{ret}(x_1^\mu - x_2^\mu) =$$
$$= \frac{1}{2\pi}\delta[s^2(x_1 - x_2)]\theta(x_1^0 - x_2^0) = \frac{1}{4\pi|r_{12}|}\delta[(x_1^0 - x_2^0) - r_{12}], \tag{13.5.3}$$

где r_{12} — некая величина, имеющая смысл расстояния между двумя макрообъектами. Индексами (1) и (2) обозначены эти макрообъекты (частицы). Напомним, что выражение для $\delta[s^2(x_1 - x_2)]$ записано в (10.3.3), $\theta(x)$ — функция, равная единице при $x > 0$ и равная нулю при $x < 0$.

В произведенном здесь обосновании пропагатора выделим два основных аспекта. Один из них имеет технический характер: получение пропагатора завершает введение в рамках бинарной геометрофизики всех составных элементов теории физических взаимодействий. Другой аспект имеет принципиальный характер: вместе с пропагатором в (13.5.3) возникает ключевая характеристика взаимодействующих макрообъектов — **расстояние** r_{ik}. Только после появления этой характеристики отношения можно говорить о понятиях классического (координатного) пространства-времени, о его сущности, об истоках его основных свойств и о пределах применимости классических пространственно-временных представлений.

13.6. Эволюция и БСКО ранга (2,2)

До сих пор основное внимание уделялось элементарному акту взаимодействия частиц — ключевому звену физики, описывающему переход системы из одного состояния в другое. Для перехода к классической физи-

ке необходимо связать отдельные звенья в цепочку, характеризующую эволюцию физической системы. В самом общем случае это достигается склейкой двух элементарных звеньев так, что конечное состояние для одного звена, т. е. элементы множества ($\mathcal{N}$) БСКО, объявляются начальными состояниями второго звена, т. е. элементами множества ($\mathcal{M}$). Затем таким же образом происходит связка второго звена с третьим и т. д. При таком подходе мир выглядит как система, совершающая некие дискретные скачки.

Еще в самом начале XX века в этом же духе высказывались М. Планк и А. Пуанкаре, уподоблявшие Вселенную грандиозной машине, совершающей квантовые переходы из одного состояния в другое. Как писал А. Пуанкаре, «В промежутках между этими скачками Вселенная остается неподвижной; различные моменты времени, в течение которого сохраняется это неизменное состояние Вселенной, очевидно, не могут быть отличены друг от друга. Мы приходим, таким образом, к прерывному течению времени, к атому времени» [95]. В каком-то смысле можно присоединиться к этим взглядам с оговоркой на то, каким образом упорядочивать отдельные скачки, происходящие в различных частях мировой системы.

При переходе к классической теории нельзя забывать, что классическое время, как параметр эволюции, это не что иное как отношение какого-то числа событий к неким эталонным событиям. Очевидно, что отдельные элементарные частицы, составляющие элементарный базис, не обладают свойством памяти, т. е. возможностью фиксации многих событий и их сравнения. Этим свойством обладает лишь достаточно сложный макроприбор.

Однако уже на самом элементарном уровне заложен прообраз понятия эволюции и времени, и проявляется он в виде бинарной системы *комплексных* отношений (БСКО) минимально возможного ранга (2,2). Чтобы это показать будем следовать универсальному правилу интерпретации теории бинарных систем отношений, которое диктует сначала переход от БСКО к производной от нее унарной системе вещественных отношений (УСВО) путем «склейки» пар элементов из разных множеств и лишь затем осмысление того, какие физические (и геометрические) понятия соответствуют вещественным отношениям построенной УСВО. Фактически это знакомая процедура, но теперь не извлечения квадратных корней из известных классических понятий при переходе к квантовой теории, а, наоборот, — процедура квадрирования понятий микромира для получения классических понятий и соотношений. В предыдущей

главе она уже применялась при получении вещественных компонент 4-скорости (импульса) в виде квадратичных комбинаций из комплексных параметров элементов. Комплексное сопряжение параметров из двух противоположных множеств означало своеобразное условие «сшивки» элементов двух множеств.

Применим эту методику к БСКО ранга (2,2;a), описываемой законом (13.3.4). Положим, что ее парные отношения — вещественные. Начнем с условия «склейки». Постулируем, что элементы из двух множеств: i и α, k и β, j и γ, ... находятся «в парах» (т. е. являются связанными), если их параметры удовлетворяют условиям:

$$i_0 = -\alpha_0; \quad k_0 = -\beta_0; \quad j_0 = -\gamma_0; \quad \cdots . \tag{13.6.1}$$

Тогда парные отношения (13.3.5) между связанными элементами обращаются в нуль

$$a_{i\alpha} = a_{k\beta} = a_{j\gamma} = \cdots = 0. \tag{13.6.2}$$

Определим отношения между связанными парами непосредственно через первичные парные отношения следующим образом

$$S_{ik} = a_{i\beta} = -a_{k\alpha} = -S_{ki}, \tag{13.6.3}$$

т. е. отношения антисимметричны. Здесь и в дальнейшем связанные пары будем помечать латинскими индексами, т. е. индексами элементов из множества $\mathcal{M}$.

При таком условии «склейки» бинарность системы отношений оказывается завуалированной, а парные отношения (13.3.5) определены для элементов как из разных множеств, так и отдельно между элементами внутри множества $\mathcal{M}$:

$$S_{ik} = i_0 - k_0 \equiv S_i - S_k, \tag{13.6.4}$$

и между элементами внутри множества $\mathcal{N}$:

$$S_{\alpha\beta} = \alpha_0 - \beta_0 \equiv S_\alpha - S_\beta = k_0 - i_0 = -S_{ik}, \tag{13.6.5}$$

где введены единые параметры УСВО в соответствии с условиями «склейки» (13.6.1):

$$S_i = i_0 = -\alpha_0 = -S_\alpha; \quad S_k = k_0 = -\beta_0 = -S_\beta. \tag{13.6.6}$$

Рассмотрим закон (13.3.4) БСВО ранга (2,2;a) для нескольких частных наборов элементов.

а) Пусть закон записан для двух пар склеенных элементов (i,α) и (k,β), тогда имеем

$$\tilde{\Phi}=\begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & a_{i\beta} \\ 1 & a_{k\alpha} & 0 \end{vmatrix}=\begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & S_{ik} \\ 1 & S_{ki} & 0 \end{vmatrix}=S_{ki}+S_{ik}=0, \tag{13.6.7}$$

т. е. в этом случае закон означает антисимметрию парных отношений.

Фундаментальное 2×2-отношение для двух связанных элементов (i,α) и (k,β) находится отсюда в виде

$$\begin{vmatrix} 0 & a_{i\beta} \\ a_{k\alpha} & 0 \end{vmatrix}=\begin{vmatrix} 0 & S_{ik} \\ -S_{ik} & 0 \end{vmatrix}=S_{ik}^2, \tag{13.6.8}$$

т. е. с точностью до коэффициента определяет квадрат интервала между двумя событиями (на мировой линии одной частицы).

б) Пусть в законе (13.3.4) одна пара элементов (i,α) «склеена», а другие два элемента j и β — нет, тогда, сопоставляя элемент β с четвертым, «склеенным» с ним элементом k, имеем

$$\tilde{\Phi}=\begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & a_{i\beta} \\ 1 & a_{j\alpha} & a_{j\beta} \end{vmatrix}=\begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & S_{ik} \\ 1 & S_{ji} & S_{jk} \end{vmatrix}=S_{ik}+S_{kj}+S_{ji}=0. \tag{13.6.9}$$

Это соотношение выражает *свойство расстояний между тремя точками на ориентированной линии*, а также свойство аддитивности классического действия, соответствующее мультипликативному свойству экспоненциальных факторов

$$\exp\left[\frac{i}{\hbar}S_{ij}\right]=\exp\left[\frac{i}{\hbar}S_{ik}\right]\times\exp\left[\frac{i}{\hbar}S_{kj}\right]. \tag{13.6.10}$$

К соотношению (13.6.9) можно придти иначе. Поскольку был осуществлен переход к одному множеству склеенных элементов и каждый из новых элементов характеризуется лишь одним параметром, то ранг УСВО должен быть равен 3. Все такие УСВО ранга 3 известны. Перебирая их, приходим к выводу, что в данном случае имеем *одномерную симплектическую геометрию*, закон которой для трех точек i, k, j имеет вид

$$\Phi=\begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & S_{ik} & S_{ij} \\ 1 & S_{ki} & 0 & S_{kj} \\ 1 & S_{ji} & S_{jk} & 0 \end{vmatrix}=-(S_{ik}+S_{kj}+S_{ji})^2, \tag{13.6.11}$$

что соответствует (13.6.9). Таким образом осуществлен переход от БСКО ранга (2,2;а) к УСВО ранга (3).

От БСКО ранга (2,2;а) можно перейти к закономерностям, описываемым хроногеометрией (см. разд. 2.5). Напомним, что в хроногеометрии методом радиолокации вводятся лишь две координаты: расстояние и время. Для этого заметим, что фундаментальное 2×2-отношение из закона (13.6.8) имеет вид

$$\begin{vmatrix} 0 & a_{i\gamma} \\ a_{k\alpha} & a_{k\gamma} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & S_{ij} \\ -S_{ik} & S_{kj} \end{vmatrix} = S_{ik}S_{ij}. \qquad (13.6.12)$$

Это выражение, соответствующее трем точкам на мировой линии одной частицы, можно понимать как квадрат интервала между событием (i, α) на мировой линии выделенной частицы и некоторого события за пределами данной мировой линии с участием некой второй частицы, если события (k, β) и (j, γ) на мировой линии первой частицы интерпретировать соответственно как моменты посылки и приема сигнала от события с участием второй частицы (см. разд. 2.5).

Оставшиеся две (угловые) координаты доопределяются некими дополнительными соображениями. В данном случае имеем аналогичную ситуацию. БСКО ранга (2,2) должна быть дополнена спинорными параметрами, оставшимися в БСКО ранга (3,3) после выделения из нее БСКО ранга (2,2) как подсистемы, т. е. спинорные параметры соответствуют роли угловых переменных.

Наконец, следует упомянуть ряд интересных закономерностей, имеющих место в теории БСКО ранга (3,3) в связи с выделением из нее как подсистемы БСКО ранга (2,2). Для каждой из них определяются свои пары сопряженных множеств $\mathcal{M}$ и $\mathcal{N}$. Оказывается, в элементарной ячейке из двух пар элементов для каждой частицы эти множества не совпадают. Четверка разноименных элементов, описывающих начальное и конечное состояние одной и той же частицы (массивного лептона), оказывается как бы зашнурованной как по горизонтали, так и по вертикали двумя БСКО рангов (3,3) и (2,2). Разделение двух элементов массивного лептона на левые и правые компоненты и наличие БСКО ранга (2,2) тесно связаны друг с другом, то есть левые и правые компоненты описываются элементами разных множеств БСКО ранга (2,2).

На рисунке 13.4 проиллюстрирована эволюция частицы, с одной стороны, через БСКО ранга (2,2) (рис. 13.4,*а*), а с другой стороны, через последовательность элементарных актов, описываемых БСКО ранга (3,3) (рис. 13.4,*б*). Однотипные элементы двух множеств БСКО ранга (2,2) на правом рисунке чередуются, занимая последовательно левое и правое

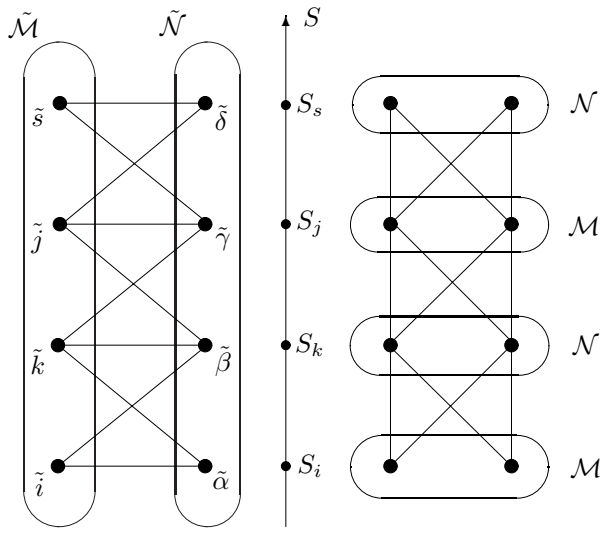

Рис. 13.4. Развертка в мировую историю процессов, описываемых БСКО рангов (2,2) и (3,3); *а* — БСКО ранга (2,2), *б* — БСКО ранга (3,3).

положение, то есть как бы обвивая вертикаль двумя противоположно закручивающимися лентами.

13.7. Происхождение закона пространства-времени Минковского

Завершающий шаг на пути от монистической к триалистической парадигме состоит в суммировании (усреднении) по всем базовым 6×6-отношениям, которые содержат элементы первой и второй выделенных частиц. В предыдущем параграфе фактически он уже использовался. В результате этого шага получаются некие отношения, сопоставляемые с парами достаточно сложных объектов (макрообъектов).

Выше было показано, что из базового 6×6-отношения (бинарного объема в бинарной геометрии) можно получить выделением различных наборов элементов и суммированиями по разным множествам элементов как смещения отдельной частицы (простой или сложной), так и квадрат интервала между двумя произвольнями событиями (с участием разных частиц). Однако определение интервалов или расстояний между событиями еще не означает, что эти интервалы соответствуют 4-мерному пространству-времени Минковского (или близки к отношениям в нем).

Для того чтобы говорить о пространстве-времени Минковского необходимо для введенных выше отношений (интервалов) между событиями выполнения в каком-то приближении закона унарной системы вещественных отношений (УСВО) ранга (6), записанный в (11.3.1). Из характера базового 6×6 (12.7.1) следует, что вид закона УСВО ранга (6) получается из него путем склейки элементов двух противоположных множеств, как это делалось в предыдущем параграфе, замены элементов на эффективные, полученные посредством суммирований, и обращением итогового выражения в нуль:

$$\left\{ \begin{matrix} \alpha\,\beta\,\gamma\,\delta\,\lambda\,\rho \\ i\;\;k\;\;j\;\;s\;\;l\;\;r \end{matrix} \right\} \equiv \left| \begin{matrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & u_{i\alpha} & u_{i\beta} & u_{i\gamma} & u_{i\delta} & u_{i\lambda} & u_{i\rho} \\ 1 & u_{k\alpha} & u_{k\beta} & u_{k\gamma} & u_{k\delta} & u_{k\lambda} & u_{k\rho} \\ 1 & u_{j\alpha} & u_{j\beta} & u_{j\gamma} & u_{j\delta} & u_{j\lambda} & u_{j\rho} \\ 1 & u_{s\alpha} & u_{s\beta} & u_{s\gamma} & u_{s\delta} & u_{s\lambda} & u_{s\rho} \\ 1 & u_{l\alpha} & u_{l\beta} & u_{l\gamma} & u_{l\delta} & u_{l\lambda} & u_{l\rho} \\ 1 & u_{r\alpha} & u_{r\beta} & u_{r\gamma} & u_{r\delta} & u_{r\lambda} & u_{r\rho} \end{matrix} \right| \rightarrow$$

$$\rightarrow \tilde{\Phi}_{(6;a)} = \left| \begin{matrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & s^2_{ik} & s^2_{ij} & s^2_{is} & s^2_{il} & s^2_{ir} \\ 1 & s^2_{ki} & 0 & s^2_{kj} & s^2_{ks} & s^2_{kl} & s^2_{kr} \\ 1 & s^2_{ji} & s^2_{jk} & 0 & s^2_{js} & s^2_{jl} & s^2_{jr} \\ 1 & s^2_{si} & s^2_{sk} & s^2_{sj} & 0 & s^2_{sl} & s^2_{sr} \\ 1 & s^2_{li} & s^2_{lk} & s^2_{lj} & s^2_{ls} & 0 & s^2_{lr} \\ 1 & s^2_{ri} & s^2_{rk} & s^2_{rj} & s^2_{rs} & s^2_{rl} & 0 \end{matrix} \right| \simeq 0. \qquad (13.7.1)$$

Здесь, во-первых, выбрана совокупность из 6 пар элементов, характеризующих 6 разных событий, и, во-вторых, вместо парных отношений $u_{i\beta}$ подставлены классические интервалы между событиями, например

$$u_{i\beta} \rightarrow s^2_{i,\beta} \equiv s^2_{ik}. \qquad (13.7.2)$$

Очевидно, что 6 событиям здесь соответствуют пары: (i,α), $(k\beta)$, (j,γ), (s,δ), (l,λ), (r,ρ), согласно чему в нижнем выражении (13.7.1) греческие индексы заменены на латинские. Кроме того, везде положено, что квадрат интервала для элементов, характеризующих одно и то же событие, равен нулю (или пренебрежимо мал).

Очевидно, что сделанное утверждение является чрезвычайно важным постулатом, соответствующим постулату 4-мерности пространства-времени Минковского, однако он имеет совершенно иной характер

нежели постулат априорного существования 4-мерного пространства-времени, так как в данной форме он фактически представляет собой условие на описанные выше суммирования. Кроме того, следует ожидать, что данный постулат может быть заменен на какое-то более элементарное утверждение о суммированиях, поскольку факт 4-мерности и сигнатуры теории следует из роли БСКО ранга (3,3).

13.8. Новая интерпретация квантовой механики

Изложенное выше определяет новую интепретацию квантовой механики (теории), соответствующую монистической парадигме. Она существенно отличается от общепринятой копенгагенской интерпретации в дуалистической парадигме физического миропонимания. Перечислим основные черты данной интерпретации.

1. Общепринятая квантовая механика строится в рамках заранее заданного классического пространства-времени, тогда как *в бинарной геометрофизике* его существование не предполагается, — *классические пространственно-временные отношения строятся параллельно с формированием квантовомеханических закономерностей.* В стандартной квантовой механике поля микрочастиц вкладываются в пространство-время и лишь констатируется факт, что классические геометрические представления неприменимы к отдельным микрочастицам. В интерпретации Н.Бора геометрические и динамические свойства материи имеют дополнительный друг к другу характер, что, в частности, отражено в квантовомеханическом принципе неопределенностей. В бинарной геометрофизике первичные отношения представляют собой прообраз как импульсного, так и координатного пространств, поэтому не удивительно, что понятия, возникшие из одного и того же источника, дополняют друг друга.

2. С точки зрения бинарной геометрофизики, *одной из причин вероятностного характера квантовой теории является цикличность (компактифицированность) первичных отношений*, описываемая БСКО ранга (2,2). Такие отношения возможно вложить в классическое пространство-время иначе, лишь «размазав» их по нему вероятностным образом.

Здесь имеет место созвучие бинарной геометрофизики с идеями Ю. Б. Румера о геометризации квантовой механики в рамках 5-оптики. Дополнительная пятая (x^4) координата Румера должна быть уподоблена параметрам БСКО ранга (2,2), также имеющим циклический характер. Напомним, что Румер понимал главную задачу 5-оптики не столь-

ко в объединении гравитационных и электромагнитных взаимодействий, сколько в геометрической интерпретации квантовой механики. Через работы Румера в данном подходе находит свое воплощение идея А. Эйнштейна и П. Бергмана о склейке координат вспомогательной размерности, различающихся на некоторый фундаментальный период (на константу $\hbar$).

Таким образом, в предложенной формулировке теории микромира (в новой интерпретации квантовой механики) вскрывается геометрическое объяснение волновых свойств частиц, т. е. в какой-то мере реализуются ожидания Эйнштейна о геометрическом обосновании закономерностей квантовой механики.

3. С точки зрения бинарной геометрофизики, *другой причиной вероятностного характера является суммирование по ансамблю элементарных базисов, составляющих макроприбор.* Классические понятия, такие как промежутки времени, расстояния и некоторые другие возникают только в результате перехода к макроприбору. При этом любая выделенная частица обладает разными отношениями к другим частицам в различных элементарных базисах. После перехода к результирующим (суммарным) понятиям встает проблема их физической интерпретации. Например, как понимать «размазанность» значений импульсов частицы? С точки зрения классических представлений не остается ничего другого, как трактовать ее вероятностным образом.

В концептуальном плане в новой интерпретации квантовой механики роль макроприбора больше, нежели в общепринятой копенгагенской формулировке: *макроприбор не только влияет на состояния частицы и на результаты эксперимента, но и становится ответственным за классические пространственно-временные представления, за саму идею классического пространства-времени.*

Благодаря существованию макроприбора (макросистем) квантовая теория принимает статистический характер. Здесь можно усмотреть созвучие со статистическим подходом к квантовой механике, разрабатывавшимся в работах Д. И. Блохинцева, который писал о неком ансамбле, создаваемом макроскопическим объектом, однако в его подходе этот ансамбль имел скрытую, загадочную природу. В бинарной геометрофизике фактически вскрывается физический смысл этого ансамбля — его составляет совокупность элементарных базисов (частиц), из которых образован макроприбор. Именно множество отношений в различных элементарных базисах образует то, что Блохинцев называл «неограниченным повторением ситуаций».

4. В рамках предложенного здесь подхода *дается теоретическое обоснование феноменологически установленных понятий и процедур общепринятой квантовой механики* (теории). К ним следует отнести понятие комплексной амплитуды вероятности, построение плотности вероятности через квадратичную комбинацию из амплитуды вероятности и комплексно сопряженной с ней величины, использование спиноров для описания основных видов элементарных частиц и некоторые другие.

Действительно, у всех приступающих к изучению квантовой механики возникает вопрос, почему в этой теории вместо первичного понятия вероятности (или плотности вероятности) нужно вводить комплексную амплитуду вероятности? В современной квантовой теории это постулат. Именно с него начинается изложение фейнмановской формулировки квантовой механики. Некоторые не могут смириться с ним и пытаются сформулировать теорию непосредственно на основе понятия плотности вероятности. В развиваемой здесь теории на подобные вопросы даются достаточно полные ответы.

5. Спин, как известно, является сугубо квантовым понятием. Казалось бы, ничто не мешает частицам быть скалярными или векторными. В общепринятом подходе наиболее убедительный ответ состоит в том, что из спинорных величин можно построить скалярные и векторные величины, а наоборот нельзя, поэтому спинор представляется самым простым объектом. В бинарной геометрофизике *спинорность частиц получает строгое логическое обоснование*, о чем говорилось в главе 12. Частица через свои спинорные характеристики проявляет прообраз таких основных свойств классического пространства-времени, как размерность, сигнатура и метрические свойства.

Здесь можно усмотреть созвучие с твисторной программй Р. Пенроуза, пытавшегося в основу теории как классического пространства-времени, так и квантовой теории, положить твисторы — своеобразные пары 2-компонентных спиноров. Существенное отличие бинарной геометрофизики от твисторной программы Пенроуза состоит в том, что в ней понятие спиноров не постулируется, а следует из более глубоких понятий — из бинарных систем комплексных отношений соответствущих рангов.

Принципиально новым моментом предложенного подхода является необходимость совместного рассмотрения структуры макроприбора и рассматриваемых относительно него других объектов. В частности, это должно сказываться на определении связанных состояний частиц (атомов и молекул и т. д.).

Таковы основные характерные черты проецирования первичных понятий бинарной геометрофизики на плоскость категорий частиц и полей, представляющих доминанты физического видения мироздания.

13.9. Выводы

В этой главе рассмотрена общая концепция формирования категорий пространства-времени и полей переносчиков взаимодействий, исходя из понятий монистической (холистской) парадигмы на основе макроскопического (редукционистского) подхода к природе этих категорий. Данная проблема имеет глобальный метафизический характер и здесь лишь намечены главные черты и общее направление предстоящих исследований в этой чрезвычайно перспективной области на грани физики и метафизики.

На основе изложенного уже можно сделать ряд важных выводов.

1. Используемые в современной физике характеристики пространства-времени и полей переносчиков взаимодействий содержат в себе чрезвычайно сложный комплекс отпечатков (влияний) событий окружающего мира. Эти влияния присутствуют даже тогда, когда итоговые значения компонент, например, напряженности электромагнитного поля, равны нулю. Они всегда присутствуют в виде гравитационных взаимодействий.

2. Проявления влияний существенно зависят от структуры объекта (макроприбора). Современной физикой описываются огрубленные воздействия окружающих событий на идеализированные приемники. Следует ожидать открытия множества принципиально новых эффектов, основанных на возможности выделения из океана отпечатков (влияний) неких специфических комплексов отношений между реально существующими объектами. Эту ситуацию можно сравнить с работой множества радиоприемных устройств (радиоприемников, телевизоров, радиотелефонов и т. д.), которые в состоянии выделять из моря электромагнитных воздействий информацию, передаваемую в определенном диапазоне и в избранном направлении.

3. Следует обратить внимание на неклассический характер первичных отношений бинарной геометрофизики, т. е. таких отношений, которые задаются вне понятий классического пространства и времени. В данном подходе причинность является макропроявлениями первичных понятий и закономерностей. В процессе уточнения механизма возникновения свойств макроскопического мира есть основания ожидать обнару-

жения эффектов отклонений от классической причинности, более общих нежели те, которые описываются современной квантовой механикой.

4. При построении понятий классической физики, таких как смещения одного объекта, парные отношения между частицами (телами) был важен выбор подмножеств рассматриваемых элементов. Могут оказаться существенными отношения между некими комбинациями элементов, выделенных по каким-то специфическим принципам[1] (особенностям). При этом совершенно не обязательно, чтобы эти объекты находились *рядом* (в классическом пространственном понимании этого термина), так как сами элементы и отношения между ними определены независимо от классических пространственно-временных представлений.

5. Изложенная здесь концепция формирования категорий пространства-времени и полей переносчиков взаимодействий противоречит глубоко укоренившемуся мнению, согласно которому содержательная картина мира может быть построена лишь в рамках теории поля (концепции близкодействия). Данный подход свидетельствует о необходимости отказа от ряда укоренившихся иллюзий.

1) *Понятие поля как самостоятельной категории следует считать фикцией*, эфимерным понятием типа эфира, флогистона, теплорода и тому подобных изобретений человеческого разума. Однако это не исключает возможности и целесообразности использования этого понятия, отдавая себе отчет в его вторичной (вспомогательной) сущности. Концепция близкодействия и понятие поля явились чрезвычайно наглядными и плодотворными на определенном этапе развития физических представлений, подобно тому, как в свое время были плодотворны концепции эфира или теплорода. Возникшие в связи с теплородом понятия теплоемкости и передачи тепла используются по настоящее время, и никто не собирается от них отказываться.
2) *Другая иллюзия связана с представлениями о реальном существовании пространственно-временного фона.* В первой главе было отмечено, как много затруднений у мыслителей прошлого вызвало понимание пространства и времени. Можно высказать уверенность, что подобно тому, как в прошлом теплород был заменен представлениями о молекулярно-кинетической природе тепла, так и в физике XXI века понятие пространства (-времени) будет заменено представлениями об элементарных бинарных отношениях между частицами, которые в своей совокупности составляют идею расстояний (интервалов)

[1] Не исключено, что эти соображения могут послужить основанием для физического описания некоторых из аномальных явлений.

в пространстве-времени. Глубоко были правы Г. Лейбниц и Э. Мах, утверждавшие, что без материи (частиц) нет и пространства и времени, что последние являются лишь особыми отношениями между материальными событиями (объектами).

3) *Третья иллюзия связана с возможностью рассмотрения свободных (идеализированных) частиц.* Они существуют и проявляются лишь в отношениях друг с другом.
4) *Иллюзией является также убеждение в локальном характере физики.* В теории поля полагается, что происходящие в какой-то точке процессы зависят лишь от свойств пространства и полей (полевого вакуума) в этой точке или, по крайней мере, лишь в ближайшей окрестности этой точки. Согласно выводам геометрофизики, на любом событии сказываются распределение материи и события во всем окружающем мире. Обычно подобные утверждения принято связывать с принципом Маха. Можно надеяться, что в будущем мы научимся выделять (или учитывать) значительно больший объем информации.

Следует пересмотреть представления о характере ряда других понятий современной физики, связанных с названными физическими (метафизическими) категориями.

Таким образом, на смену прежним проблемам физики XX века приходят новые, более глубокие и содержательные задачи.

Глава 14

Физика, философия, религия

Теоретическую физику можно понимать как теорию материального начала философско-религиозных учений, обладающей своей внутренней метафизикой. Опираясь на ее достижения, обратимся к истокам науки, чтобы глубже понять характер, структуру и эволюцию философско-религиозных учений.

Сравнительный анализ этих учений и фундаментальной теоретической физики позволяет утверждать, что в их основе лежат одни и те же метафизические парадигмы. При этом в философско-религиозных учениях также проявляется система из трех начал (материального, идеального и духовного), что позволяет сопоставить представленные в мировой философии (и религии) учения (мировоззрения) с соответствующими естественнонаучными миропониманиями.

Между философско-религиозными началами и ключевыми физическими категориями проявляются поразительные аналогии не только структурного, но и смыслового плана, свидетельствующие о глобальном метафизическом характере принципа фрактальности и раскрывающие философское содержание физических теорий XX века. Опыт, накопленный в фундаментальной теоретической физике, позволяет сделать ряд выводов о соотношении физики (науки), философии и религии.

14.1. Философия и фундаментальная теоретическая физика

В известном трехтомнике Ч. Мизнера, К. Торна и Дж. Уилера «Гравитация» приводятся такие слова: «Томас Манн в своем эссе о Фрейде высказал мысль, которую Нильс Бор несомненно назвал бы великой истиной («Великая истина — это такая истина, отрицание которой есть также великая истина».) Томас Манн сказал: «Наука никогда не сделает

ни шага вперед, пока философия не одобрит и не вдохновит ее на это». Если принцип эквивалентности и принцип Маха являются философскими «крестными отцами» общей теории относительности, то справедливо также и то, что истинный смысл этих принципов стал ясным только после длительного изучения самой теории Эйнштейна. Поэтому кажется разумным ожидать, что при поисках предгеометрии самое раннее указание должно исходить из философского и вместе с тем плодотворного принципа, полный смысл которого и все его следствия, возможно, суждено понять лишь впоследствии» [82, с. 479]. Это в полной мере может быть отнесено к содержанию настоящей книги, причем не только в общем плане философского осмысления физики, но и в отношении предгеометрии, представленной в третьей части.

Если значимость философии (метафизики) для физики не вызывает сомнений, то сложнее обстоит дело со взаимоотношениями физиков и философов в осмыслении назревших физических идей с позиций готовых философских систем[1].

История физики свидетельствует о том, что профессиональные философы, как правило, оказывались не в состоянии помочь естествоиспытателям, которые были вынуждены решать встающие перед ними философские проблемы своими силами. Этот факт отмечали многие известные физики. Так, Э. Мах в предисловии к «Познаниям и заблуждениям» писал, что он «вовсе не философ, а только естествоиспытатель. Если меня тем не менее порой, и несколько шумно, причисляли к первым, то я за это не ответственен. Но я не желаю также, разумеется, быть таким естествоиспытателем, который слепо доверяется руководительству одного какого-нибудь философа, как это требовал, например, от своего пациента врач в комедии Мольера. (...) Прежде всего я поставил себе целью не ввести новую философию в естествознание, а удалить из нее

[1] Приходится констатировать, что у самих философов наблюдается большой разброс в понимании предмета своей деятельности. Предлагаемые ими определения философии лежат где-то внутри треугольника: наука, искусство, религия. Так, С.Л.Франк тесно связывал философию с религией. Напомним, что, согласно диалектическому материализму, философия является наукой. Близкое определение дает В. С. Степин: «Философия — это наука о возможных человеческих жизненных мирах (подобно тому, как Лейбниц когда-то определял математику как науку о всех возможных мирах)» [112, с. 14]. Третью точку зрения отстаивал Н. А. Бердяев. Отмечая, что «Кант и Гегель, Конт и Спенсер, Коген и Риккерт, Вундт и Авенариус — все хотят, чтобы философия была наукой или наукообразной», он придерживался мнения, что «философия ни в каком смысле не есть наука и ни в каком смысле не должна быть научной» [5, с. 48]. «*Философия есть искусство, а не наука.* Философия — особое искусство, принципиально отличное от поэзии, музыки и живописи, — искусство познания» [4, с. 54].

старую, отслужившую свою службу. (...) Среди многих философских систем, появлявшихся на свет с течением времени, можно насчитать немало таких, которые самими философами признаны ложными (...). Такие философские системы, не только бесполезные в естествознании, но и создающие вредные, бесплодные, мнимые проблемы, ничего лучшего не заслужили, как устранения. Если я этим сделал кое что хорошее, то это собственно заслуга философов...» [79, с. 4–5].

Позднее некоторые физики-теоретики высказывались по этому вопросу более резко. Например, в «Фейнмановских лекциях по физике» можно найти такие слова: «Эти философы всегда топчутся около нас, они мельтешат на обочинах науки, то и дело порываясь сообщить нам что-то. Но никогда на самом деле они не понимали всей тонкости и глубины наших проблем» [120, с. 24]. В подобном же духе высказался другой Нобелевский лауреат С.Вайнберг в своей книге «Мечты об окончательной теории» [17], шестая глава которой имеет характерное название «Против философии». Напоминая высказывание Ю.Вигнера о «непостижимой эффективности математики», Вайнберг заявляет о «поразительной неэффективности философии» для физики (как нам представляется, имея в виду не философию вообще, а готовые философские системы). Он пишет: «В охоте на окончательную теорию физики больше напоминают собак с хорошим чутьем, чем зорких соколов: мы рыщем в поисках следов красоты, которую надеемся найти в законах природы, но, по-видимому, не можем усмотреть путь к истине с высоты философии». На ряде примеров Вайнберг демонстрирует, что готовые философские системы в столкновении с физикой, как правило, порождают больше проблем, чем решают. В частности, он приводит пример пагубного влияния философии диалектического материализма на науку в СССР.

Возможно, именно этим объясняется тот факт, что многих выдающихся естествоиспытателей разных времен и народов, среди которых назовем Аристотеля, Р. Декарта, И. Ньютона, Г. Лейбница, Э. Маха, считают видными философами. Подобные примеры есть и в физике XX века. Так, В. Гейзенберг в своих воспоминаниях о встречах с Н. Бором писал: «Бор был прежде всего философом, не физиком, но он знал, что в наше время натурфилософия только тогда обладает силой, когда она во всех мелочах выдерживает неумолимый критерий экспериментальной истинности» [33].

Лауреат Нобелевской премии Хидэки Юкава в своих «Лекциях по физике» сказал об Э. Шредингере: «У Шредингера склонность к философии была выражена особенно сильно. (...) Он — талантливый фи-

зик, имевший очень хорошие работы по термодинамике и статистической физике, — в действительности хотел заниматься философией» [153, с. 24–25].

Большое внимание уделял философии и философскому осмыслению достижений теоретической физики XX века Вернер Гейзенберг. Прекрасный знаток античной философии, он проводил многочисленные параллели между взглядами Демокрита, Платона, Аристотеля, с одной стороны, и идеями квантовой теории и физики элементарных частиц, с другой. Это достаточно ярко отражено в его книге «Физика и философия. Часть и целое» [33].

Известны слова, в которых, имея в виду Эйнштейна, некий современник великого ученого не без иронии заметил, что у них в университете есть лишь один настоящий философ, но и тот работает на другом факультете.

Философские идеи выдвигали и на их основе проводили исследования такие выдающиеся ученые нашего времени, как Я. И. Френкель, В. А. Фок, Д. И. Блохинцев, П. К. Рашевский, М. А. Марков, А. Д. Сахаров и многие другие.

Напомним, что главная заслуга Платона в развитии математики состоит именно в том, что он под влиянием Пифагора, в противовес Сократу и софистам, считал знание математики необходимым для философов. Поэтому в его «Академию», в которой состояли такие замечательные математики и астрономы, как Архит, Теэтет и Евдокс, вообще не принимались несведущие в точных науках, потому что им «нечем ухватиться за философию» (цит. по [30, с. 135]). «Пусть тот, кто не знает геометрии, не входит сюда», — гласила надпись на дверях «Академии».

В последнее десятилетие много писалось о вмешательстве философии и идеологии в отечественные научные исследования, об обвинениях ученых в идеализме, махизме, солипсизме и в прочих «-измах». Попробуем разобраться в соотношении философских систем и научных программ, опираясь на опыт, накопленный теоретической физикой.

14.2. Три начала и классификация философско-религиозных учений

Обращение к мировым философско-религиозным системам позволяет обнаружить, что в них, как и в физике, в центре внимания находятся именно три метафизические начала (категории). Например, С. Н. Булгаков в книге «Трагедия философии» писал о трех сторонах, составляющих суть всякой философской системы: «Есть три основных са-

моопределения мысли, образующих для нее исход и определяющих ее ориентацию, по этим трем рубежам разделяются все философские системы с их основными началами: 1) ипостась или личность; 2) идея ее или идеальный образ, логос, смысл; 3) субстанциальное бытие как единство всех моментов или положений бытия, как реализующееся все. *Я есмь Нечто* (потенциально все) — эта формула, выражающая суждение, содержит в себе в сокращенном виде не только схему сущего, но потому и схему истории философии. Эту трехчленную формулу, содержащую в себе логическое триединство и тройственность моментов, связывающую в нераздельность и несекомость, непрестанно в разных направлениях рассекает философствующая и в произвольности этого рассечения и избрания отдельных начал еретичествующая мысль, и способом этого рассечения определяется стиль философствования» [13, с. 317].

Не во всем согласимся с С. Н. Булгаковым, полагая, что правильнее было бы в качестве третьего избрать духовное начало, так как личность является аналогом физического понятия тела отсчета и обязательно присутствует во всех философско-религиозных системах.

Анализ показывает, что в философских и религиозных учениях три метафизических начала (категории) выступают в виде следующих систем родственных понятий[1]: (И) *идеальное (рациональное) начало*, связанное с разумом, (М) *материальное начало*, бытие, данное в ощущениях, и (Д) *духовное начало*, воля, вера.

Идеальное начало. Напомним, что в философской и религиозной мысли древней Греции доминировали представления, согласно которым божественный мир проявляется через разум человека. Как уже отмечалось, наука, в частности математика, оформилась и получила свой высокий статус благодаря провозглашению ее божественного характера в трудах мыслителей античности: Пифагора, Платона и их школ. Этот вопрос подробно исследован в трудах П. П. Гайденко [30–31], В. Н. Катасонова [58, 59] и ряда других авторов. «Греческая философская мысль древности понимает соотношение интеллектуальной и волевой способностей человека по преимуществу в пользу первой. То есть: воля определяется рассудком, интеллектуальным созерцанием. Сократ сформулировал это со всей определенностью: воля стремится туда, куда ей указывают представления, „познание“» [59, с. 160].

Позже на основе доминирующей роли идеального начала сформировался ряд идеалистических учений.

[1] Следует отметить, что троичность основы мироздания отмечалась во многих религиозно-мифологических системах как Запада, так и Востока.

Духовное начало сыграло чрезвычайно важную роль в истории мысли. С утверждением на Западе христианства доминанта античности изменилась. На первый план выдвинулось *духовное начало, воля*. Как пишет П. П. Гайденко, «Главное же отличие средневекового понимания человека от античности состоит в том, что *воля оказывается тесно связанной с верой*; вера выступает как направленность воли и предмет веры определяется именно волей, в первую очередь. (...) Таким образом, если в античности центр тяжести этики был в знании, то в средние века появляется ярко выраженная тенденция перенести его из знания в веру, *из разума в волю*. (...) Воля рассматривается как та инстанция, в которой пребывает высшая власть» [31].

Эти взгляды ярко выражены Августином, Дунсом Скотом и многими мыслителями средневековья, считавшими, что рациональное начало (познание, рассудок, разум) определяется волей (духовным началом). К этому направлению богословской мысли примыкали и номиналисты, настаивавшие на приоритете божественной воли и всемогущества перед всеми остальными определениями божественного бытия.

С утверждением христианства в европейской философии важнейшее значение приобретает противостояние двух точек зрения, двух доминант: интеллектуального (идеального) начала и волевого (духовного) начала, на фоне которого происходило становление науки.

Материальное начало имело важное значение уже в учениях античных атомистов. В XX веке его определяющая роль была провозглашена марксистско-ленинским диалектическим материализмом, согласно которому материя первична, а сознание, мышление — вторично. Напомним известное определение сознания человека как функции «того особенно сложного куска материи, который называется мозгом человека» [73, с. 215]. «Вторичность сознания по отношению к материи, к бытию проявляется в том, что сознание возникает лишь на известной ступени развития материи, развития природы, что сознание в виде идей, теорий возникает у человека лишь в результате отражения им окружающей среды». В марксистско-ленинском учении (вслед за Гегелем) духовное начало не признавалось («идеализм неизбежно ведет к поповщине»), т. е. фактически идеальное начало сливалось с духовным.

Представим названные философско-религиозные начала в виде ортов (осей) в 3-мерном пространстве, построив на них куб, олицетворяющий единое мироздание (Первоначало). Три взаимно ортогональные грани куба определяют три философско-религиозные мировоззрения (см. рис. 14.1).

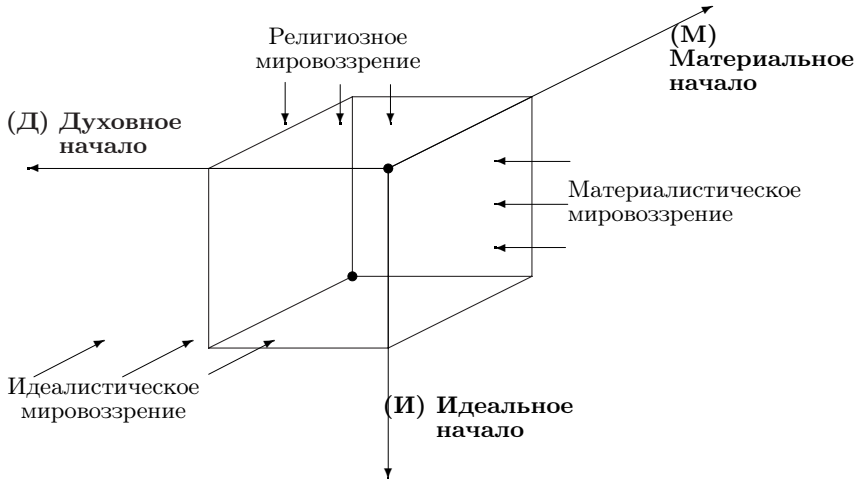

Рис. 14.1. Философско-религиозные начала и мировоззрения

Отметим, что намек на аналогичное наглядное представление единого Первоначала и трех философско-религиозных начал можно усмотреть в следующем высказывании Николая Кузанского: «С помощью числа он (ум — Ю. В.) улавливает в единстве четверное; а именно существует простейшее [единство], второе — единство корня, третье — квадратное, четвертое — кубическое. (...) Ум созерцает собственную универсальную бытийность в этих четырех различающихся единствах. (...) [Ум] изображает эти умственные единства словесными знаками: первое, высший и простейший ум, он называет Богом; второе, единство корня, не имеющее предшествующего корня, он называет разумом (intelligentia), третье, квадратичное, (...) он называет душой; последнее же, развертывающее и ничего в себе не свертывающее единство, кубичность, предположительно [называет] телом» [63, с. 193]. Здесь просматривается соответствие тела с материальным началом, души с духовным, а разума — с идеальным началом.

Признание трех названных начал в философско-религиозной мысли характерно для русских философов серебряного века. Как справедливо отмечал В. С. Соловьев [111], попытки опереться в философии лишь на одно из начал — абсолютный клерикализм, абсолютный идеализм или крайний материализм — показали свою несостоятельность. Несмотря на декларации философов о выборе лишь одного из начал, более внимательное рассмотрение показывает, что жизнеспособность философско-религиозных учений определяется тем, что они в той или иной форме используют и другие начала, как правило, выделяя два из них. По ана-

логии с изложенным выше назовем эти три возможности *философско-религиозными мировоззрениями.*

Вид на куб сверху, со стороны духовного и материального начал, положим соответствующим *религиозному мировоззрению*, вид на куб со стороны идеального и духовного начал — *идеалистическому мировоззрению* и, наконец, вид на куб справа, со стороны материального и идеального (рационального) начал, — *материалистическому мировоззрению.*

14.3. Фрактальность: соответствие физических категорий и философско-религиозных начал

Метафизические парадигмы в физике, рассмотренные в предыдущих главах, относятся к одному из философско-религиозных начал — материальному. Сформулированный в рамках естественнонаучных парадигм метафизический принцип фрактальности справедлив и для философско-религиозной сферы: *метафизическая парадигма каждого из начал философско-религиозных учений повторяет метафизическую парадигму целого.*

Напомним, принцип фрактальности выполнялся в триалистической естественнонаучной парадигме в представлениях об отдельной физической категории пространства-времени. То же можно сказать и о двух других физических категориях. Более того, справедливость этого принципа можно проследить и в дуалистических парадигмах.

О выполнении принципа фрактальности с некоторыми оговорками можно говорить применительно к учениям Платона и Демокрита. Например, дуалистическая философско-религиозная парадигма в учении Демокрита совпадает с дуалистической парадигмой материального начала (атомы и пространство между ними), а также соответствует диалектической парадигме идеального начала.

Более того, данный принцип выявляет *кратные проявления одной и той же метафизической парадигмы в понятийных сферах разных областей знания*, в частности, соответствие начал философско-религиозных учений и ключевых физических категорий. *Физическую категорию частиц естественно соотнести с философским материальным началом, физическую категорию пространства-времени*, являющуюся идеальным (рациональным) понятием, — *с идеальным (рациональным) началом в философии*, а *физическую категорию полей переносчиков взаимодействий — с духовным началом в философии (религии).*

Последнее сопоставление нуждается в дополнительном пояснении. Так, широко известно евангельское изречение: «Бог — это любовь». В связи с этим вспомним, что еще в античности Эмпедокл объяснял притя-

жение и отталкивание тел посредством понятий любви и вражды. Позднее взаимодействия стали описываться через понятие поля, в частности, свет в физике описывается электромагнитным полем. Напомним также, что Декарт для описания воздействий ввел специальный вид «духовной материи». Тот же подход прослеживается и у Лейбница, который, говоря об активной природе материи, назвал ее «первичной силой, первой энтелехией, одним словом, душой (anima)».

В «Очерке мистического богословия Восточной Церкви» В. Н. Лосского находим: «Священное Писание изобилует выражениями, относящимися к свету, к Божественному озарению, к Богу, Которому прилагается наименование Света. Для мистического богословия Восточной Церкви это не метафоры, не риторические фигуры, но слова, выражающие реальный аспект Божества.(...) Если Бога называют Светом, так это не только по аналогии со светом материальным. Божественный свет не имеет аллегорического или абстрактного значения: он — реальность, данная в мистическом опыте» [76, с. 164–165].

Исходя из того, что физика и философские и религиозные учения имеют дело с одной и той же реальностью, совместим куб физической реальности, изображенный на рисунке 0.1, с кубом философско-религиозного Первоначала на рисунке 14.1, на котором уже были должным образом выбраны направления осей, олицетворяющих три начала. Разнесем начала координат физических и философско-религиозных осей в противоположные концы большой диагонали куба действительности (Первоначала). В итоге получится куб, изображенный на рисунке 14.2, шесть граней которого олицетворяют шесть миропониманий (мировоззрений): три естественнонаучных (физическое, геометрическое и реляционное) и три философско-религиозных.

В итоге оказались соотнесенными миропонимания: физическое и религиозное, геометрическое и идеалистическое, реляционное и материалистическое.

Согласно принципу фрактальности, идеальное и духовное начала должны опираться на свои собственные категории, соотносимые с тремя философско-религиозным началами. Для них можно нарисовать свои кубы и определить тройки *мировосприятий*, которые будут соответствовать, с одной стороны, материалистическому, идеалистическому и религиозному мировоззрениям, а с другой стороны, — трем естественнонаучным миропониманиям: физическому, геометрическому и реляционному, что позволяет сделать ряд любопытных выводов.

Вопрос о проявлениях фрактальности в идеальном начале в наиболее развитом — математическом — виде затронут ниже, в разд. 14.7. Рассмотрение фрактальности в духовном начале относится к сфере богословия, т. е. выходит за рамки данной книги.

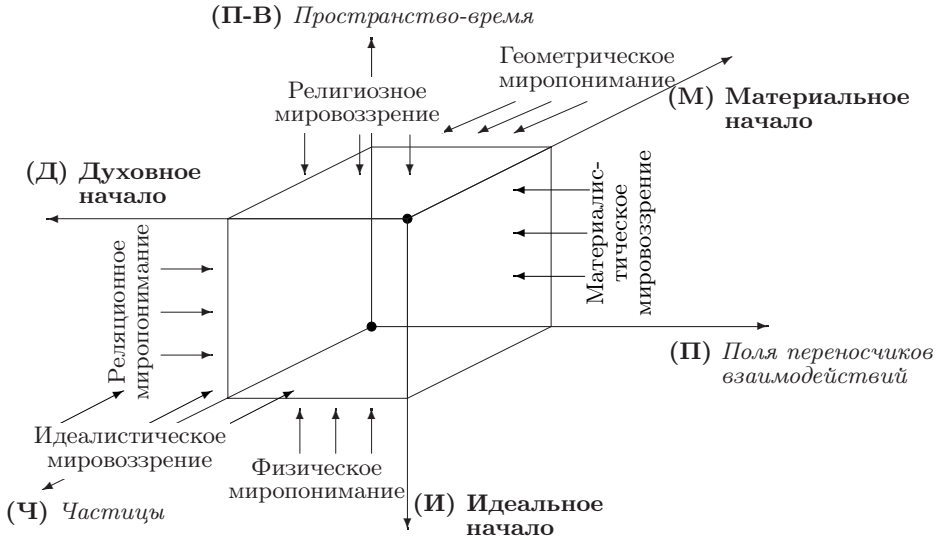

Рис. 14.2. Философско-религиозные начала и шесть миропониманий (мировоззрений)

Рассмотрим некоторые следствия из сопоставления названных мировоззрений с соответствующими им естественнонаучными миропониманиями.

14.4. Религиозное и физическое миропонимания

Мировоззрение, основанное на духовном и материальном началах, названо религиозным потому, что, согласно христианскому учению, человеку даны две книги: Священное писание (духовное начало) и книга природы (материальное начало). Аналогичным образом обстоит дело и в таких классических религиях, как иудаизм и ислам, где доминирующим является духовное начало, а материальный мир понимается «тварным», сотворенным Богом. Без второго (материального) начала религиозная система не смогла бы выполнить своего предназначения.

Отношение к третьему началу — идеальному (рациональному) — в религиозном мировоззрении было разным: от отрицания, особенно на первых стадиях развития христианства, до признания. Как пишет В. Д. Захаров: «Выдающиеся мыслители уже с первых веков христианства понимали задачу апологии (перевода истин Откровения на язык разума и примирения веры с положительным знанием) и стремились разрешить ее философскими средствами. Климент Александрийский

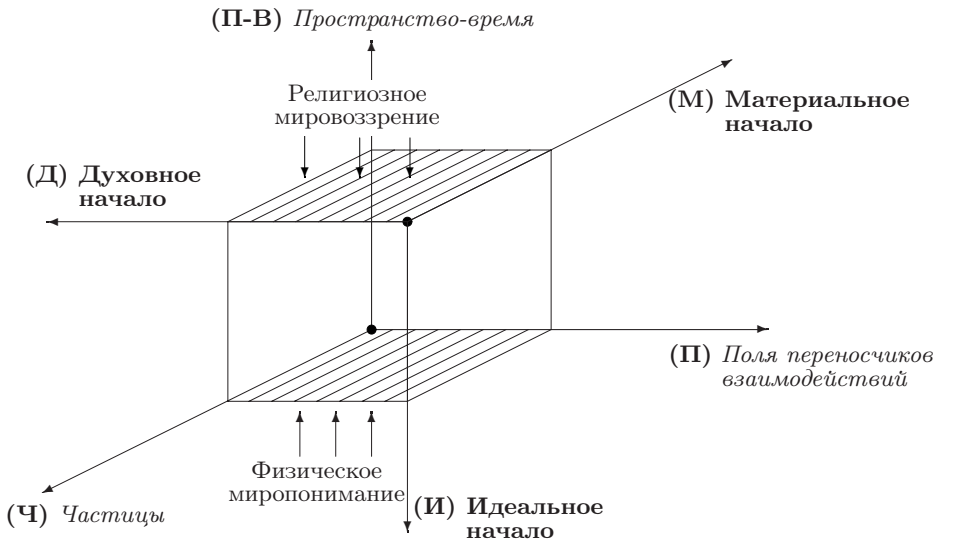

Рис. 14.3. Религиозное и физическое миропонимания

(150–215) назвал греческую натурфилософию подлинным «детоводителем» ко Христу. Ориген (185–235), создатель системы христианского вероучения, а затем Иоанн Скот (IX век) решительно выступили за необходимость подтверждения веры разумом. Они считали, что разум и Откровение, как два источника истины, не могут противоречить друг другу. Однако Церковь, анафематствовашая и Оригена (553), и Иоанна Скота (855), видимо, не хотела допустить, чтобы философская, нецерковная мысль дерзала вообще разрабатывать богословие. Уже первые опыты научной апологии были приняты Церковью с решительной враждебностью. Она не пожелала принимать никакой апологии, кроме своей собственной. Возникшее в Новое время новое естествознание само развивалось уже в борьбе с церковным авторитетом» [49].

Тем не менее компромисс между разумным (идеальным) началом и духовным был достигнут, о чем свидетельствует канонизация Церковью учения Аристотеля.

Согласно данной выше классификации, религиозное мировоззрение сопоставляется с физическим, опирающимся на категорию частиц (материальное начало) и на категорию полей (духовное начало) (см. рис. 14.3). И в физическом миропонимании, и в религиозном мировоззрении следует различать две дуалистические парадигмы и предельную монистическую. Кратко охарактеризуем каждую из них, сравнивая с соответствующей физической парадигмой.

Западные классические религиозные учения (христианство, иудаизм и ислам) принадлежат дуалистической философско-религиозной парадигме[1], которая опирается на духовное и материальное начала, берущие на себя функции третьего, идеального начала. На рисунке эту парадигму следовало бы изобразить в виде двугранного угла вдоль оси идеального начала. Отметим, что в физике выбор парадигмы такого рода соответствовал бы программе построения теории на основе категорий частиц и полей переносчиков взаимодействий, взявших на себя роль категории пространства-времени. Такая программа не была осуществлена, поскольку не ясны пути определения категории поля без априорно заданного пространства-времени.

К другой дуалистической философско-религиозной парадигме следует отнести пантеизм и примыкающие к нему учения (орфиков и др.), объединяющие (или отождествляющие) духовное и материальное, тогда как третье начало (идеальное) фактически остается самостоятельным. (На рисунке 14.3 этой парадигме соответствует верхняя грань куба.) Одним из первых пантеистов эпохи Возрождения был Николай Кузанский, рассматривавший Бога как «бесконечный максимум» и простиравший бесконечность Бога в природу. В XVI–XVII веках пантеистами являлись Кардано, Патрици, Кампанелла, Д. Бруно, но особенно большой вкдад в развитие этого учения внес Б. Спиноза, построивший целостностную религиозно-философскую систему, в которой понятия «Бог» и «природа» тождественны.

Именно это философско-религиозное учение соответствует главной парадигме физического миропонимания, в рамках которой в XX веке развивались квантовая теория и теория суперсимметрий. Соотнесение этих парадигм позволяет глубже понять причины многовекового конфликта между наукой и религией, имеющего метафизический характер.

В результате достижений в физике XVII века, главным образом в трудах Ньютона, в естествознании господствующей стала триалистическая парадигма, согласно которой все объекты (частицы) характеризу-

[1] К этой же парадигме следует отнести и ряд языческих верований. Для многих из них характерно представление о самостоятельной сущности материального мира (космоса), в который вводились божественные начала. Конкретным примером дуалистического философско-религиозного учения являются воззрения орфиков, разделявших тело (материальное начало) и дух, и гностиков, различавших духовное знание, постигаемое и проявляющееся в эманациях (эонах), и материю, источником которой является Демиург.

Позднее эту парадигму представляло учение манихейцев, которые считали зло изначальным и самостоятельным началом, связанным с материей, а добро — вторым началом, связанным со светом — духом. Как известно, затем манихейство сблизилось с христианством и в различных формах просуществовало до наших дней.

ются точными положениями и скоростями в классическом пространстве-времени, а взаимодействия между ними подчиняются принципу «естественной» причинности, как ее назвал И. Кант. В таком мире господствует абсолютный детерминизм, и задав положения и координаты всех тел в мире, можно сколь угодно точно предсказать состояние мира в любой момент времени. В итоге Лейбницем был сделан вывод, что роль Бога состояла лишь в создании мира с конкретными начальными условиями, а дальше уже он развивался по известным физическим (читай, механическим) законам без участия Бога. На рубеже XVIII и XIX веков Лаплас заявил, что в его системе мира Бог является «лишней аксиомой».

Однако, как писал Кант, в природе, кроме естественной причинности, изучаемой механикой (естествознанием), имеется еще другая причинность, названная им «свободной», с которой имеет дело религиозное мировоззрение. Для «свободной» причинности характерна неоднозначность (возможность нескольких исходов), которая в религии связывается с Божьей волей. Успехи же физики (механики), основанной на триалистической парадигме, побудили ученых распространить крайний детерминизм с соответствующей ему естественной причинностью на все иные сферы жизни, игнорируя возможность другой причинности. В итоге возник конфликт между наукой и религией, продолжавшийся почти три столетия.

Открытие квантовой механики привело к отказу от абсолютного механистического детерминизма и заставило положить в основу физического мироздания вероятностные закономерности. Таким образом, сама физика XX века устранила главную причину конфликта между наукой и религией, заменив «естественную» причинность классической механики на «свободную» причинность квантовой механики, где невозможно однозначно предсказать поведение электрона в атоме, что дало повод говорить о невероятной прежде «свободе воли электрона». «Физика XX века, — как справедливо отмечает В.Д.Захаров, рассматривая проблему отношений между наукой и религией с позиций двух причинностей, — сама преодолела барьер, воздвигнутый между ними классической физикой, и указала на возможный путь их синтеза — построения единой картины мира на основе соединения физического и религиозного миропониманий. Оба эти миропонимания можно рассматривать как две взаимопротивоположные истины, но не противоречащие одна другой, а дополняющие друг друга» [48].

Таким образом, создание квантовой теории ознаменовало замену в физике триалистической парадигмы на дуалистическую парадигму физического миропонимания, которое оказалось соответствующим религиозному мировоззрению. В этом смысле можно утверждать, что *маги-*

стральное направление физики XX века оказалось на одной и той же метафизической основе, что и религиозное мировоззрение, открывая путь для сближения науки и религии на качественно новой научной основе. Это отмечалось и классиками теоретической физики, например, В. Гейзенберг приводит следующие слова В. Паули: «Развитие естествознания в последние два столетия, несомненно, изменило человеческое мышление в целом и вывело его из круга представлений христианской культуры. Поэтому не так уж маловажно то, что думают физики. Ведь именно узость этого идеала, — идеала объективного мира, существующего в пространстве и времени по закону причинности, — вызвала конфликт с духовными формами различных религий. И если само естествознание ломает эти узкие рамки — как оно это сделало в теории относительности и в еще большей мере способно сделать в квантовой теории, о которой мы теперь с таким жаром спорим, — то соотношение между естествознанием и тем содержанием, которое хотят охватить своими духовными формами религии, начинает выглядеть опять-таки иначе. (...) В будущем, думая о порядке мироздания, нам следовало бы придерживаться середины, как она очерчена, например, в принципе дополнительности Бора. Наука, построенная на таком образе мысли, будет не только терпимее к различным формам религии, но сможет, пожалуй, полнее рассматривая целое, обогатить и мир ценностей» [33, с. 210].

Как нам представляется, слова Паули о выводе естествознанием человеческого мышления «из круга христианской культуры» нужно понимать в смысле распространения в прошлом механистических представлений на все мироздание.

Но это не конечная стадия эволюции. Христианское богословие опирается на монистическую (точнее, монотеистическую) парадигму, и физические программы также нацелены на построение теории монистической естественнонаучной парадигмы, что создает еще более глубокую метафизическую основу для сближения физической и религиозной картин мира.

14.5. Идеалистическое и геометрическое миропонимания

Идеалистическое мировоззрение возникло на основе выделения двух (разделенных или объединенных в одно обобщенное) начал: идеального (рационального) и духовного. Оно сформировалось в процессе противостояния, с одной стороны, философско-религиозных учений античности, ставивших во главу угла идеальное начало, и, с другой стороны, христианства, где доминирующим было духовное начало.

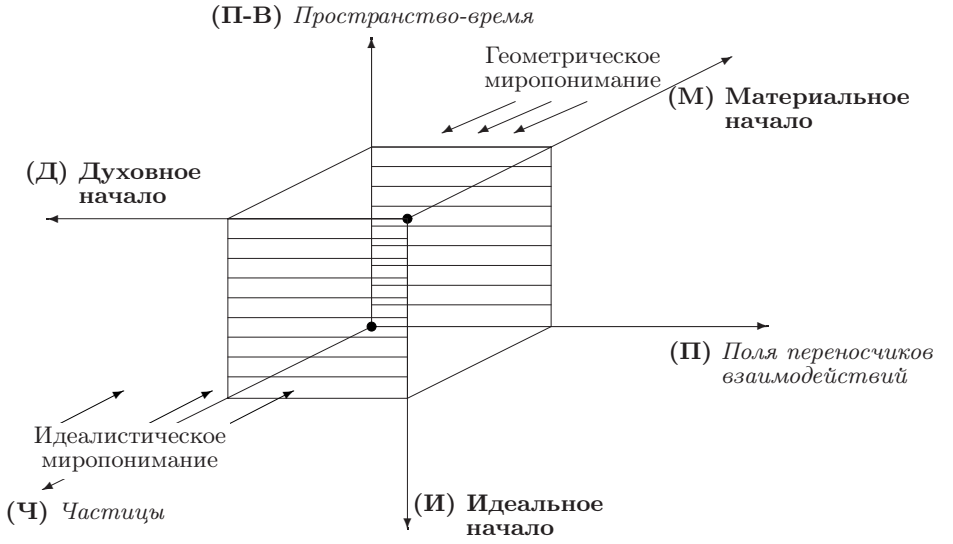

Рис. 14.4. Идеалистическое и геометрическое миропонимания

Идеалистическое мировоззрение может быть соотнесено с геометрическим миропониманием в естествознании. (На рисунках 14.2 и 14.4 им соответствуют противоположные — задняя и передняя — грани куба). Сторонники диалектического материализма были правы, причисляя эйнштейновскую общую теорию относительности к идеалистическому учению. Отметим, что *монистические философские системы такого рода следует уподобить геометрическому миропониманию мира в рамках экстремальной клиффордовской парадигмы*, где провозглашена программа вывода всей физики из геометрии.

В рамках идеалистического мировоззрения следует различать две дуалистические парадигмы и монистическую. Долгое время признавалась лишь одна дуалистическая парадигма, основанная на объединении идеального (разума) и духовного (воли) начал при автономном характере материального начала. К этой парадигме следует отнести взгляды Аристотеля, который сделал важный шаг от системы Платона, попытавшись связать Бога не просто с разумом, а с божественным разумом, являющимся перводвигателем всего космоса. Именно это единство позволило в средние века добиться некоего совмещения христианства с философской системой Аристотеля, несмотря на то, что в последней имелись противоречащие христианству положения.

Отметим, что эта парадигма соответствует в естествознании дуалистической парадигме, на которую опирается общая теория относительно-

сти и многомерные геометрические модели физических взаимодействий типа теории Калуцы—Клейна.

Другая дуалистическая идеалистическая парадигма, в которой идеальное начало (разум) и духовное начало (воля) получают независимый, самостоятельный статус, утвердилась лишь в XIII веке, когда католическое богословие признало за «естественным разумом» право автономного от веры познания мира. Так родилась идея «двойственной» истины. Признание самостоятельности двух начал сыграло огромную роль в развитии философской мысли. Как писал протоиерей Василий Зеньковский: «Учение о *самодостаточности* «естественного разума» в познании мира и человека есть, в сущности, новое, чуждое основным течениям даже античной мысли понятие: возвышая Откровение над «естественным разумом», Аквинат в то же время *рассекает* единую целостность познавательного процесса. Она была таковой у греков, т. е., конечно, у самых значительных мыслителей Греции; она была таковой и у христианских богословов ранних и поздних — до XIII века. Аквинат же своим решением вышел уже на новый путь и тем надолго разрешил для Запада трудную тему о соотношении внерелигиозного знания и веры. (...) Это открыло новый путь для чисто философского творчества, которое не просто стало обходиться в дальнейшем без религиозного обоснования («верхнего этажа»), но постепенно вышло на путь полной автономии, возводимой отныне в принцип» [51].

Следует отметить, что данная дуалистическая парадигма соответствует геометрической парадигме, в рамках которой делались попытки из физических категорий пространства-времени и полей вывести категорию частиц в виде солитонных или иных частицеподобных решений полевых уравнений. Сопоставление данных миропониманий позволяет обнажить философско-религиозные корни часто упоминаемой в физике идеи творения материи «из ничего».

При рассмотрении данного круга проблем проявляется еще один любопытный факт: в деятельности отдельных естествоиспытателей, особенно в XVII–XVIII веках, не всегда совпадают естественнонаучная и философско-религиозные парадигмы. Например, естественнонаучное учение Г. Лейбница следует трактовать как реляционное миропонимание, тогда как в философско-религиозном плане он ближе к идеалистическому мировоззрению. Например, обсуждая вопрос об альтернативе: или вера, или разум, он писал: «Распутать этот столь трудный узел и одинаково справедливо воздать и благочестию, и разуму должно представляться одним из величайших стремлений человеческой жизни. Ибо стремление заставить людей погасить для себя свет разумения под предлогом веры или вырвать себе глаза, чтобы лучше видеть, ведет прямо

к тому, что и самые одаренные мужи вскоре становятся или откровенными нечестивцами, или, во всяком случае, лицемерами, какими, мне думается, были когда-то аверроисты, отстаивавшие двойственность истины» [72, с. 176]. Как пишет В. Н. Катасонов: «По Лейбницу, согласие веры и разума следует устанавливать *положительно*, т. е. сама наука должна свидетельствовать об истинности положений веры (хотя и не в полном объеме). Лейбниц всегда указывал, что наука невозможна без некоторых *метафизических* положений, которые уже приводят к истинам веры» [59, с. 148].

К дуалистической идеалистической парадигме, опирающейся на обобщенную категорию идеального и духовного начал и на самостоятельно выступающее материальное начало, следует отнести философско-религиозные взгляды И.Ньютона. Как пишет П. П. Гайденко: «Абсолютное пространство Ньютон наделяет особым свойством активности, называя его «чувствилищем Бога» (Sensorium Dei). (...) «Чувствилищем Бога» называет абсолютное пространство и С. Кларк в переписке с Лейбницем, защищая здесь точку зрения, общую у него с Ньютоном. (...) Правда, Ньютон не согласен считать пространство мировой душой, поскольку это понятие трудно совместимо с христианством, но идея общей одушевленности мира ему не чужда. (...) Понятия пространства, эфира, «мирового дыхания» или «мировых духов» ассоциировались у некоторых возрожденческих натурфилософов с мировой душой неоплатоников, которая мыслилась как тончайшая материя или, как мы видели у Г. Мора, И. Ньютона и С. Кларка, — как пространство. При этом последнее рассматривается как *одушевленное пространство* у ряда представителей герметизма; у Ньютона и Кларка, желавших остаться в пределах христианской теологии, оно получает название „божественного чувствилища“» [31, с. 81].

Примечательно, что философско-религиозные взгляды И.Ньютона оказались созвучными парадигме общей теории относительности в геометрическом видении мира. Напомним, что общая теория относительности также опирается на два начала: обобщенную категорию искривленного пространства-времени и материю, записываемую в правой части уравнений Эйнштейна. Как уже отмечалось, ученый рассматривал свою теорию как промежуточную на пути к экстремально геометрической теории клиффордовского типа.

В рамках идеалистического мировоззрения следует упомянуть и монистическую парадигму, опирающуюся на одно обобщенное начало, точнее Первоначало, в качестве которого выступал Бог. К этой парадигме следует отнести взгляды С. Л. Франка, Ф. Д. Шеллинга, Г. Гегеля и некоторых других, считавших, что «единственный предмет философии есть

Бог». Например, Г. Гегель писал: «Здесь религия и философия совпадают. В самом деле и философия сама есть богослужение, религия, ибо она по существу не что иное, как отказ от субъективных домыслов и мнений в своем занятии Богом. Следовательно, философия тождественна с религией.» [32, с. 220].

14.6. Материалистическое и реляционное миропонимания

Мировоззрение, основанное на выделении двух начал: материального и идеального (рационального), названо материалистическим по нескольким причинам. Во-первых, традиционно (во всяком случае у нас в стране) материалистическая философия рассматривалась как наука, т. е. как рациональное учение. Во-вторых, в диалектическом материализме, провозгласившем первичность материи, тем не менее вводилась еще *форма существования материи*, которая фактически выполняла роль идеального (второго) начала в этом учении. В-третьих, следует учесть, что материализм в нашей стране был назван диалектическим, что подразумевает наличие второго начала. Поскольку диалектический материализм противопоставлялся идеализму, то естественно считать идеальное начало вторым в этом учении.

Подчеркнем, что данное здесь определение материалистического мировоззрения отличается от известного определения материализма классиками марксизма-ленинизма. Как уже отмечалось, материалистическое мировоззрение соответствует естественнонаучному реляционному миропониманию, что схематически изображено на рисунке 14.5 параллельными гранями куба.

Как и во всех предыдущих случаях, в материалистическом мировоззрении следует различать две дуалистические и одну монистическую парадигмы.

К одной из дуалистических парадигм материалистического мировоззрения относятся учения, в которых так называемый «основной вопрос философии» решается в дуалистическом духе, т. е. признаются самостоятельными и равноправными как материальное, так и идеальное начала. Подобные дуалистические философские учения соотносимы с теориями прямого межчастичного взаимодействия Фейнмана—Фоккера, опирающимися на (обобщенные) категории частиц и пространства-времени. Неудивительно, что в философии такого типа игнорируется духовное начало, подобно тому, как в теории Фоккера—Фейнмана исключалась из рассмотрения физическая категория полей переносчиков взаимодей-

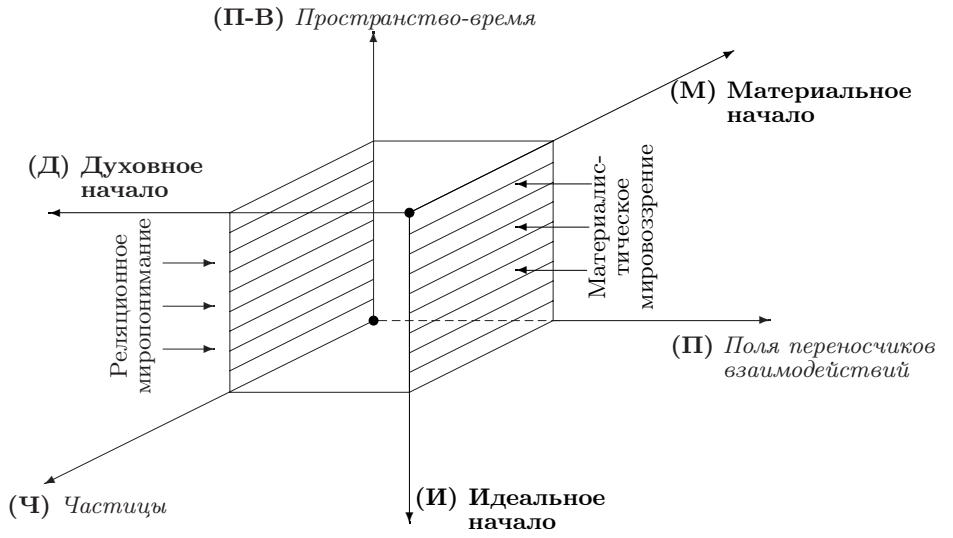

Рис. 14.5. Материалистическое и реляционное миропонимания

ствий, — фактически ее функции брали на себя две другие обобщенные категории.

Другая материалистическая дуалистическая парадигма опирается на обобщенное начало, содержащее в себе материальное и идеальное начала, и на оставшееся (самостоятельное) духовное начало. Она характерна для философско-религиозных взглядов Галилея и Декарта: оба признавали, наряду с Богом и связанным с ним духовным началом, материальное начало, объединяя его с идеальным. Как отмечает П. П. Гайденко, «У Декарта мир природы превращается в бесконечно простирающееся *математическое тело*. Сила, активность, деятельность вынесены за пределы природного мира; их источник — трансцендентный Бог. С помощью закона инерции Декарт связывает движение с протяжением, устраняя из природы — с помощью догмата о творении — всякое представление о конечных причинах» [31, с. 68]. «Сила, благодаря которой тело продолжает пребывать в состоянии, в котором оно находится, является позитивной волей Бога», — пишет французский физик Ж. Роо, последователь Декарта (цит. по [31, с. 70]). Как это ни покажется парадоксальным, но, согласно приведенным выше определениям, данная парадигма должна быть отнесена к материалистической.

Из физических теорий второй половины XX века к данной материалистической дуалистической парадигме следует отнести теорию физических структур Кулакова, несмотря на приверженность автора к фи-

лософии Платона и неприятие им материализма (в традиционном для нашей страны понимании).

К монистической материалистической парадигме следует отнести философские взгляды Э. Маха и, в значительной степени, позитивизм, которые фактически основывались на объединении материального и идеального начал. Позиция Маха подробно изложена в его книге «Познание и заблуждение». Здесь следует подчеркнуть, что термин «ощущение» использовался Махом для обозначения психологической реакции человека на окружающие его материальные объекты, например, солнце, осязаемые тела. Он писал: «Наш опыт развивается через идущее вперед приспособление наших мыслей к фактам действительности. Через приспособление наших мыслей друг к другу возникает упорядоченная, упрощенная и свободная от противоречий система идей, к которой мы стремимся как к *идеалу науки*» [79, с. 28]. Думается, что Ленин, критикуя Маха за его, якобы, субъективный идеализм, не понял сути его позиции.

Философско-религиозные взгляды Маха вполне соответствовали его естественнонаучным позициям. Он резко выступал против использования в физике идеальных понятий, не имеющих достаточного обоснования в наблюдениях (в ощущениях). В частности, к таковым он относил понятия пространства и времени и настаивал на их сугубо реляционной сущности. Вместо тел и пространства (-времени) у него фактически вводилась обобщенная категория (структура), в которой ключевую роль играли *отношения*: отношения между телами, отношения человека и окружающих тел. Напомним, что понятие отношения теряет всякий смысл без тел и о телах бессмысленно говорить без отношений между ними, так как тела проявляются только в этих отношениях. За его философско-религиозными взглядами также просматривается некое единое обобщенное начало, включающее в себя как материальное начало (тела), так и идеальное начало (отношения).

Известно прохладное отношение Э. Маха к клерикализму: в его биографии можно найти немало тому подтверждений. Он относил волю к вторичным понятиям: «Не существует *воли и внимания* как *особых* психических сил. Та же сила, которая образует тело, производит и те особые формы согласного действия частей тела, которые мы называем в совокупности «волею» и «вниманием». Воля и внимание так родственны между собой, что трудно разграничить их друг от друга. Воля и внимание заключают в себе элемент «выбора», как геотропизм и гелиотропизм растений или явление падения камня на землю. Все они в равной мере загадочны или в равной мере понятны. Воля состоит в подчинении менее важных или только временно важных рефлективных актов жизнен-

ной функции руководящих процессов. А эти руководящие процессы суть ощущения и представления, *регистрирующие* условия жизни» [79, с. 71].

Отметим, что *монистическая материалистическая парадигма наиболее полно соответствует изложенной выше бинарной геометрофизике.*

Возвращаясь к диалектическому материализму, также претендовавшему на монистический статус учения, хотелось бы отметить, что всеохватывающее материальное начало было в нем настолько общим, что оказалось совершенно бесплодным для физики. В одну категорию материи попали и частицы, и поля. Попытки следовать этому учению в физике приводили к лишним надуманным проблемам. Вспомним ранее приведенную философскую дискуссию А. З. Петрова, М. Ф. Широкова и Д. Д. Иваненко о гравитации. Соответствующими диалектическому материализму оказывались понятия эфира, теплорода, флогистона и прочих идеальных субстанций, достаточно было лишь признать их материальный характер.

С точки зрения диалектического материализма, также совершенно неважно, какова природа пространства-времени. В одной из лучших книг по диалектическому материализму прошлых лет утверждалось: «Субстанциальная и реляционная концепции не связаны однозначно с материализмом и идеализмом. Здесь возможны любые сочетания» [122, с. 139]. Упомянем также догматическую трактовку в диалектическом материализме пространства-времени как формы существования материи, согласно которой пространство может быть только 3-мерным. Этот догмат послужил основанием для насмешек по поводу высказываний Э.Маха о возможности многомерных пространств. Список претензий к диалектическому материализму может быть существенно продолжен.

Тем не менее, как нам представляется, правильнее было бы не отказываться от материализма, как такового, «не выплескивать вместе с водой и ребенка», а существенно его переработать с учетом достижений современного естествознания (физики). В частности, *следовало бы уточнить определение материализма в духе сформулированного выше материалистического мировоззрения*, выделив из него два класса дуалистических и одну монистическую парадигмы. С признанием сущности этих, а также других парадигм в иных мировоззрениях, материалистический взгляд на мир теряет свой агрессивный характер, противостоящий как идеалистическому, так и религиозному мировоззрениям. При такой постановке вопроса достижения, выработанные человечеством в течение многих веков в рамках разных мировоззрений, становятся дополняющими друг друга и дают в совокупности наиболее полное представление о мире.

Еще раз подчеркнем, что наглядное изображение шести миропониманий действительности в образе куба показывает, что *материалистическое мировоззрение не соответствует ни магистральному пути развития физики XX века в рамках физического миропонимания* (со стороны нижней грани куба), *ни парадигме общей теории относительности* (со стороны задней грани куба).

14.7. Фрактальность идеального начала и архитектура математики

Идеальное начало в наиболее развитом виде представлено современной математикой. Можно было бы написать «Метафизику», опираясь не на физику (материальное начало), а на математику (идеальное начало), причем эта книга, возможно, имела бы аналогичную структуру. Поскольку это должно входить в компетенцию профессиональных математиков, ограничимся здесь лишь краткими замечаниями, опираясь на известный труд французских авторов, работавших под именем Н.Бурбаки и ставивших перед собой цель изложить под единым углом зрения математику середины XX века.

Подобная книга должна была бы также начинаться с главы, посвященной зарождению математики в античности и развитию ключевых математических категорий с древности до нового времени. Н. Бурбаки предвидели возможность такого исследования, однако устранились от углубления в метафизику: «Мы бы зашли слишком далеко, если бы от нас потребовали проследить те превратности судьбы, которым подвергалась унитарная концепция математики от пифагорейцев до наших дней. Кроме того, это — работа, к которой более подготовлен философ, чем математик, так как общей чертой всех попыток объединить в единое целое математические дисциплины — все равно, идет ли речь о Платоне, о Декарте или Лейбнице, об арифметизации или логистике XIX века, — является то, что они делались в связи с какой-либо более или менее претенциозной философской системой, причем исходным пунктом для них всегда служили априорные воззрения на отношения между математикой и двойной действительностью внешнего мира и мира мысли» [15, с. 246]. Здесь фактически признано, что для развития общих представлений о мире как в прошлом, так и в настоящем, как со стороны философии, так и со стороны математики или физики необходим синтез всех названных (и неназванных) дисциплин.

Бурбаки пошли по пути автономного обсуждения математики без учета философии или физики, но тем не менее обнаружили в основаниях математики (в «архитектуре математики») проявление все той

же троичности. Они явно выделили три типа математических структур (три вида отношений), названных порождающими структурами (les structures-meres):

1. «То отношение, которое фигурирует в групповых структурах, называют «законом композиции»; это такое отношение между тремя элементами, которое определяет однозначно третий элемент как функцию двух первых. Когда отношения в определении структуры являются «законами композиции», соответствующая структура называется *алгебраической структурой*» [15, с. 252].
2. «Другой важный тип представляют собой структуры, определенные *отношением порядка*; на этот раз это — отношение между двумя элементами x, y, которое чаще всего мы выражаем словами «x меньше или равно y». (...) Здесь больше не предполагается, что это отношение однозначно определяет один из элементов x, y как функцию другого» [15, с. 252].
3. К третьему типу структур отнесены *топологические структуры* (или топология). «В них находят абстрактную математическую формулировку интуитивные понятия окрестности, предела и непрерывности, к которым нас приводит наше представление о пространстве» [15, с. 253].

Математический мир в целом предлагается строить на основе концепции иерархии названных структур, идя от простого ядра из порождающих структур к сложному. «За пределами этого первоначального ядра появляются структуры, которые можно было бы назвать *сложными* (multiples) и в которые входят одновременно одна или несколько порождающих структур, но не просто совмещенные друг с другом (что не дало бы ничего нового), а органически *скомбинированные* при помощи одной или нескольких связывающих их аксиом» [15, с. 255]. Называются отдельные разделы математики с указанием порождающих их структур; например, топологическая алгебра и алгебраическая топология возникают из соединения топологической и алгебраической структур. «Соединение структуры порядка и алгебраической структуры точно так же изобилует результатами, приводя, с одной стороны, к теории делимости идеалов, а с другой стороны — к теории интегрирования и к спектральной теории операторов, где точно так же топология играет свою роль. (...) Именно таким образом получают теории классической математики: анализ функций действительной и комплексной переменной, дифференциальную геометрию, алгебраическую геометрию, теорию чисел. Но они теряют свою былую автономность и являются теперь перекрестками, на

которых сталкиваются и взаимодействуют многочисленные математические структуры, имеющие более общий характер» [15, с. 256].

Можно было бы пояснить сказанное также с помощью некоего (теперь математического) куба, построенного на трех осях, соответствующих порождающим математическим структурам, можно классифицировать разделы математики по их принадлежности к одной из восьми метафизических парадигм и ввести, как и прежде, три видения математического мира.

Можно утверждать, что в математике, представляющей идеальное начало, проявляется одна и та же метафизика, что и в физике, представляющей материальное начало. Принцип фрактальности позволяет установить соответствие математических порождающих структур с физическими категориями и философско-религиозными началами: структуру отношений следует соотнести с категорией частиц и материальным началом, алгебраическую структуру — с категорией полей переносчиков взаимодействий и духовным началом, а топологическую структуру — с категорией пространства-времени и идеальным началом.

Бурбаки пришли к близкому выводу: «Аксиоматический метод показал, что истины, из которых хотели сделать средоточие математики, являются лишь весьма частным аспектом общих концепций, которые отнюдь не ограничивают свое применение этим частным случаем. В конце концов, это интимное взаимопроникновение, гармонической необходимостью которого мы только что восхищались, представляется не более чем случайным контактом наук, связи между которыми являются гораздо более скрытыми, чем это казалось a priori» [15, с. 258].

Иной подход к основаниям математики и формальных логических систем представлен в книге С. К. Клини «Введение в метаматематику» [60], где математика «отрывается» от физики и какого-либо материального носителя. Как пишет автор, «Матаматематика должна изучать формальную систему как систему символов и т. п., которые рассматриваются совершенно объективно. Это означает попросту, что символы и т. п. не должны использоваться для обозначения чего-либо отличного от них самих. Метаматематика смотрит на них, а не через них и не на то, что за ними; таким образом, они являются предметами без интерпретации или значения» [60, с. 62].

Характерно, что метаматематика Клини также опирается на систему из трех категорий. Первую категорию образуют *формальные символы* ($\supset$, $\exists$, $\forall$, &, $=, \ldots$), вторую категорию составляют *формальные выражения* (конечные последовательности формальных символов), а третью — конечные последовательности формальных выражений.

Общие метафизические принципы, лежащие в основаниях как физики, так и математики, в той или иной мере проявились в дискуссиях математиков о предмете их деятельности и о соотношении математики и физики. В качестве примера можно назвать статью В. И. Арнольда с характерным названием «Математика и физика: родитель и дитя или сестры?» [3]. Еще раньше об общих корнях физики и математики (геометрии) писал Б.Риман в мемуаре «О гипотезах, лежащих в основании геометрии» [101].

14.8. Аристотелево триединство, христианская Троица и бинарная геометрофизика

До сих пор в этой главе главное внимание уделялось редукционистскому подходу к мирозданию, т. е. триалистическим и дуалистическим парадигмам. Обратимся к холистскому подходу, т. е. рассмотрим монистическую парадигму в физике, религии и философии.

14.8.1. Первоначало

Красной нитью в книге проходит стремление естествоиспытателей прошлого и физиков-теоретиков XX века найти Первооснову (Первоначало) физического мироздания, из которого бы следовали все известные понятия и закономерности.

Идея о макроскопической природе классического пространства-времени и других понятий физики и необходимость перехода к обобщенным категориям выводит понятия и закономерности монистической физической теории за пределы привычного физического мира, за пределы классического пространства и времени. Согласно этой идее, весь окружающий нас мир, включая его понятия, оказывается производным от некой Первоосновы, непосредственно проявляющейся в физике микромира. Что это как не *представления о неком физическом Творце, лежащем за пределами классического мира?*

Если в физике идут к Первоначалу, если можно так сказать, снизу — от частного к общему, то во всех религиозных (философско-религиозных) системах Запада и Востока идея Первоначала является исходной. Постулируется, что именно из Него так или иначе проистекает видимый (материальный, или «тварный») мир. В разных религиозных системах первичное Начало называется по-разному: Бог — в христианстве и иудаизме, Аллах — в исламе, Демиург, или Перводвигатель — у Аристотеля, Дао — в даосизме, Дхармы — в буддизме и т. д. Характер

и свойства Первоначала также понимаются по-разному. В некоторых религиозных системах вообще накладывается табу на его осмысление; в христианстве, даосизме, буддизме и некоторых других учениях постулируется некая система представлений (догматов) о Первоначале. Конечно, во всех религиях Оно выступает в образной, мифологизированной форме, причем необязательно в антропоморфном виде, как в христианстве. В восточных учениях или у Аристотеля нет догмата о творении мира в какой-то момент времени (или вместе с пространством и временем). Как уже отмечалось, в даосизме, родственном с буддизмом, Первоосновой мира является Дао, к которому не приложимы понятия места нахождения или времени, но в то же время нет места во Вселенной, где бы всегда не присутствовало Дао. Именно из Дао через проекции в наш мир дэ возникают все используемые человеком понятия.

В философии Первоначало занимает чрезвычайно важное место. Это проявлялось в античности в философско-религиозных системах Пифагора, Платона, Аристотеля, а также в большинстве философских учений нового времени, что дало основание ряду авторов даже говорить о совпадении предмета философии и религии. Так, С. Л. Франк писал, что «Согласно этой (сложившейся, — Ю. В.) традиции, по меньшей мере *предмет* философии и религии совпадает, ибо *единственный предмет философии есть Бог*. Философия по существу, по целостной и универсальной своей задаче есть не логистика, не теория познания, не постижение мира, а *Богопознание*. Таково господствующее понятие философии в античной мысли, проходящее, начиная от Гераклита, через Платона и Аристотеля, стоицизм и новоплатонизм; таково же средневековое понимание философии» [127, с. 321].

«Нечто, — утверждал И. Кант, — существует безусловно необходимо. Это нечто единое в своем существе, просто в субстанции, дух по своей природе, вечно по длительности своего существования, неизменно по своему качеству, абсолютно самодовлеюще в отношении всего возможного и действительного. Оно — Бог» [00, с. 422]. Г. Лейбниц во многих своих сочинениях обращается к Первопричине, утверждая, что «Бог есть первая причина вещей». Аналогичную мысль находим и у Г. Гегеля: «Бог есть абсолютно истинно вообще, из которого все исходит и к которому все возвращается, от которого все зависит и вне которого ничего не имеет абсолютной, истинной самостоятельности. Это и есть содержание начала» [32, с. 273].

По сути дела даже в диалектическом материализме тоже говорится о Первоначале, только оно называется иначе — материя. Таким образом, идея Первоначала допускает широкий спектр трактовок — от мистических до вполне материалистических.

14.8.2. Триединство

В бинарной геометрофизике в качестве физической первоосновы выступает бинарная система комплексных отношений ранга (6,6), опирающаяся на три неразрывно связанные стороны, в качестве которых выступают два множества элементов и парные отношения между элементами этих множеств.

К. Г. Юнг в своей «Попытке психологического истолкования догмата о Троице» значительное место уделил обсуждению идеи триединства и троичности в дохристианских религиозно-философских воззрениях вавилонян, египтян и античности. При этом он отметил: «Вопрос о том, были ли эти идеи переданы последующим векам путем миграции или тридиции или же в каждом случае они спонтанно возникали заново, имеет мало значения. Главное в том, что они были налицо, потому что, поднявшись однажды из бессознательного духа человечества (причем не только в Передней Азии!), они могли затем заново возникать в любое время и в любом месте. Более чем сомнительно, что древнеегипетская теология хотя бы отдаленно была известна отцам Церкви, составившим формулу омоусии. И тем не менее они не могли успокоиться, пока в полном объеме не воспроизвели древнеегипетский *архетип*» [154, с. 27].

Так или иначе, но в христианстве одним из ключевых оказался догмат Святой Троицы: «Троица единосущная и нераздельная! Отец, Сын и Святой Дух! Один равен трем! Один и много не отличаются — понятие числа к Богу неприменимо!» [36, с. 114]. Здесь можно разглядеть закономерность, проявляющуюся и в физике, — обобщенные категории, тем более Первоначало, не описываются на языке привычных классических понятий.

Отец Павел Флоренский, размышляя о смысле Святой Троицы, писал: «Троица в Единице и Единица в Троице для рассудка ничего не означает», т. е. он считал, что и не следует пытаться охватить разумом ее суть, а надо лишь преодолевать ее тайну подвигом веры. Однако вряд ли возможно остановить разум в его стремлении познать основы бытия, тем более, что для этого есть достаточно много оснований, в том числе и в самом христианстве.

В «Догматическом богословии» В. Н. Лосского «Бог — непознаваемый как Троица, но также и открывающий Себя как Троица. Вот предел апофатизма[1]: Откровение о Троице, как об изначальном факте, абсолютной реальности, первопричины, которую нельзя ни вывести, ни

[1] Апофатическое определение основано на указании тех свойств, которыми не обладает рассматриваемый объект.

объяснить, ни найти, исходя из какой-либо другой истины, ибо нет ничего, Ей предшествующего» [76, с. 51]. Аналогичное находим у Григория Богослова: «„Быть нерожденным, рождаться и исходить“ дает наименования: первое — Отцу, второе — Сыну, третье — Святому Духу, так что неслитность трех Ипостасей соблюдается в едином естестве и достоинстве Божества. Сын — не Отец, потому что Отец — один, но то же, что Отец. Дух не Сын, хотя и от Бога (потому что Единородный — один), но то же, что Сын. И Три — единое по Божеству, и Единое — три по личным свойствам» (цит. по [76, с. 43].

Выше уже неоднократно отмечалось, что в основу древнего китайского философско-религиозного учения — даосизма — также была положена идея триединства Первоначала: «Дао порождает единое, единое порождает двоицу, двоица порождает троицу, а троица порождает все множество вещей».

Философ В. С. Соловьев писал о триединой системе «истинного знания, или свободной теософии, основанной на мистическом знании вещей божественных, которое она посредством рационального мышления связывает с эмпирическим познанием вещей природных, представляя таким образом всесторонний синтез теологии, рациональной философии и положительной науки. Этот великий синтез не есть чья-нибудь субъективная, личная потребность: недостаточность эмпирической науки и бесплодность отвлеченной философии, с одной стороны, а с другой стороны, невозможность возвратиться к теологической системе в ее прежней исключительности, необходимость развивать и восполнить мистическое начало элементами рациональными и природными — реализовать его как всеединое — все это ясно осознано умом человечества как результат его отрицательного развития. Само это развитие отвлеченных начал, совершенное западным человечеством, содержит в себе живую и реальную картину этих начал, их суд и осуждение; так, отвлеченный клерикализм уничтожен своим собственным последовательным развитием в папстве; отвлеченная философия осуждена гегельянством, а отвлеченная наука подрывается современным позитивизмом; так что наша критика только выражает в общих формулах тот неизбежный вывод, к которому приводит реальный исторический процесс, пережитый умом человечества; этот вывод есть положительное всеединство» [111, с. 590].

О триединстве в философии говорилось и в богословских работах С. Булгакова: «Философские системы, вместо того, чтобы быть философской транскрипцией или, если угодно, схематической разработкой мотивов триединства, оказываются вариантами философии тождества,

или, что то же, монизма» [13, с. 329]. Он характеризовал развитие философии как «троякую возможность философствующей ереселогии», когда триединая «нераздельность и несекомость, непрестанно в разных направлениях рассекает философствующая и в произвольности этого рассечения и избрания отдельных начал еретичествующая мысль, и способом этого рассечения определяется стиль философствования» [13, с. 329]. Фактически Булгаков констатировал обратный, по сравнению с физикой, характер развития философии: не от редукционизма к холизму, а наоборот — от единого нераздельного к доминантам его сторон (частей), — призывая, как и Соловьев, к возвращению к триединой Первооснове.

Основы философии триединого Первоначала были заложены еще Аристотелем. Много позже дискуссия между последователями Платона и Аристотеля (достаточно двух сторон или необходимы три стороны) нашла свое развитие в философии Гегеля и в какой-то форме была отражена в диалектическом материализме, где монистическая парадигма присутствовала в виде диалектического метода исследования.

14.8.3. Принцип тождества монистических парадигм

Поразительная схожесть проявления триединства Первоначала в разных мировоззрениях не случайна и должна рассматриваться как следствие *принципа тождества монистических парадигм*, в который трансформируется принцип фрактальности триалистических и дуалистических парадигм.

При анализе естественнонаучных миропониманий (физического, геометрического и реляционного) было выявлено, что первоначала предельных монистических парадигм (физический вакуум, прагеометрия, бинарная система отношений) представляют одну и ту же сущность, рассматриваемую под разными углами зрения. Именно под этим углом зрения следует понимать высказывание В. Гейзенберга о том, что, разделяя «материю все дальше и дальше, мы в конечном счете придем не к мельчайшим частицам, а к математическим объектам, определяемым с помощью их симметрии» [34, с. 88].

Из принципа тождества монистических парадигм в философско-религиозной сфере следует ряд чрезвычайно важных следствий.

1. Идеалистическое триединство Аристотеля, догмат Святой Троицы в христианстве и физическая бинарная структура (система отношений) отражают свойства одного и того же Первоначала. В первой главе уже отмечалось, что родство аристотелевской

идеи о триединстве Первоначала и догмата Святой Троицы позволило создать синтез учения Аристотеля и христианства, просуществовавший до нового времени.

В основе бинарной геометрофизики лежит теория самого элементарного *звена произвольного процесса* — перехода системы из одного состояния в другое. При этом два множества элементов бинарной структуры описывают два состояния системы (начальное и конечное), а отношение между ними (связь между ними) характеризует сам процесс перехода. Это невольно наводит на мысль о тесной связи оснований бинарной геометрофизики и догмата христианства о Троице, как трех ипостасях Бога. *Одно множество элементов бинарной системы комплексных отношений (БСКО), интерпретируемое как начальное состояние (мировой) системы, следует сопоставить с ипостасью Бога-Отца, второе множество элементов, интерпретируемое как конечное состояние (мировой) системы состояний, — с ипостасью Бога-Сына, а отношения между элементами двух множеств можно уподобить Богу-Святому Духу.*

Известные современные западные богословы Роберт Йенсен (США), Юрген Мольтман и Вольфарт Панненберг (Германия) на основе совсем иных соображений пришли к аналогичному выводу о связи идеи Троицы с понятием процесса, в частности, с существованием времени. Так, Йенсен пишет: «Время — это то, что случается, когда Святой Дух приходит от Отца к Сыну. Время существует потому, что Дух не Отец и оба они встречаются в Сыне!» (цит. по [36]). Еще более определенно выражается Юрген Мольтман: «Бог — это не другая природа или божественная персона или моральный авторитет, но фактически событие!» (цит. по [36]).

Физик-теоретик А. А. Гриб, рассматривая этот богословский вопрос, пишет: «Так или иначе, но в отличие от пространственного Бога греков, находящегося «где-то» (например, на Олимпе), или совпадающего со всей пространственной Вселенной у пантеистов, Бог иудео-христианства есть, прежде всего, Дух! Дух же, как и человеческая душа, прежде всего, существует во времени. Так, сегодня весьма популярно считать душу программой организма, реализуемой во времени. Время же — это настоящее, прошлое и будущее. Нечто типа времени есть в Боге: Сын после Отца (хотя и нельзя сказать вместе с Арием, что было, когда Он (Сын) не был), так как рожден Им, и потому есть время и в сотворенном мире как подобие Троицы... Первым, кто стал понимать вечность не как эллинистическое понятие противоположности времени — некоторую неизменность, а как полноту времен, содержащую любую конечную временность, был один из великих каппадокийцев 4 века святой Григорий Нис-

ский. Поэтому и возможна формулировка Мольтмана и Йенсена: „Бог есть событие!“» [36].

Эта аналогия хорошо отражается рядом новозаветных изображений Троицы, где Бог-Отец представляется в виде Старца, Бог-Сын — в виде младенца (Иисуса Христа), а Бог-Святой Дух рисуется в виде Голубя между ними. Аналогично воспринимается изображение Святой Троицы на куполе храма Христа-Спасителя в Москве: Бог-Отец с Сыном (Иисусом Христом) на руках, а Святой Дух усматривается в лучах света, исходящего от главы Бога-Отца. Очевидно, образы Отца и Сына можно понимать как художественное воплощение идеи смены двух поколений в жизни человека.

Данную аналогию можно усмотреть и анализируя второй план ветхозаветной Троицы Андрея Рублева: за Богом-Отцом изображается некое фундаментальное строение, за Богом-Сыном — дерево, символизирующее жизнь, развитие, а за Богом-Святым Духом — горные кручи, символ духовного восхождения. Кстати, в столь почитаемой на Руси иконе Богородицы с Младенцем также можно увидеть художественное отражение той же идеи смены двух поколений рода человеческого.

Подчеркнем, что триединая конструкция из двух множеств и отношений между ними неделима. Исключая любую из этих трех частей, мы сразу же лишаемся понятия бинарной системы. Уберите первое множество элементов (аналога Бога-Отца), и сразу же теряют смысл и второе множество (аналог Бога-Сына), как следующая (конечная) стадия процесса, и понятие отношения (аналога Бога-Святого Духа) между элементами разных множеств. Без понятия отношения эти множества разделяются, оказываются разобщенными и тем самым теряющими свое назначение и смысл.

2. Математический аппарат теории бинарных структур (систем отношений) следует понимать как теорию, представляющую монистическую парадигму математики. Выше при обсуждении архитектуры математики на основе работ Бурбаки затрагивались триалистическая и дуалистические парадигмы в математике, но не говорилось, какой раздел современной математики мог бы представлять монистическую парадигму. Однако Ю. И. Кулаков, открывший теорию физических структур, поставил вопрос о соотношении математической части своей теории со структурами, названными в работах Бурбаки, и высказал мнение, что его структуры следует отнести к новой, четвертой математической структуре. Позволим себе не согласиться с такой точкой зрения: *теорию бинарных структур следует понимать как прообраз математики*, т. е. как математическую теорию, опирающуюся на мо-

нистическую метафизическую парадигму. Полагаем, что из должным образом сформулированной теории бинарных систем отношений можно вывести все три первообразующие (классические) математические структуры, выделенные Бурбаки.

14.9. Творение мира, филиокве и стрела времени

С позиций метафизики (монистической парадигмы) рассмотрим две внутренние проблемы христианского учения: понимание догмата творения мира и постулат филиокве, разделивший христианскую Церковь на западную и восточную ветви.

1. Согласно одному из догматов христианства, Бог сотворил мир. Но что такое сотворил? Как это понимать, буквально или в каком-то переносном, обобщенном смысле? Религиозные тексты всех времен и народов содержат мысли, выраженные посредством образов, символов, иносказаний, и поэтому возможны разные их прочтения в зависимости от уровня развития культуры. Это относится и к пониманию тезиса о творении мира. В физике XX века происхождение Вселенной описывалось на основе общей теории относительности, точнее, опираясь на космологические решения Фридмана уравнений Эйнштейна, которые приводят к сингулярным состояниям в начале (или в конце, или с обеих сторон) эволюции модели, что принято интерпретировать в духе христианского творения мира (из «ничего»).

В бинарной геометрофизике первооснова представлена бинарной системой комплексных отношений ранга (6,6), из которой можно образовать понятия окружающего мира. В некотором смысле физические первопонятия действительно творят, создают весь мир. Переходы из одного состояния в другое образуют звенья единой цепи эволюции мира. Описываемое бинарной геометрофизикой творение происходит непрерывно, отражая процесс развития мира.

К подобной точке зрения о непрерывности творения приходят и западные богословы. По этому поводу А. А. Гриб пишет: «В. Панненберг говорит, что Бог — в будущем! Его действие, в отличие от действия сил природы, есть действие из будущего — как идеал, цель, привлекающая человека, не заставляя его, в отличие от причины, действующей из прошлого. Творение из ничего происходит непрерывно, и это есть то, что мы называем становлением — превращением будущего в настоящее и прошлое. При этом, однако, существа, обладающие свободной волей, — живые существа и, возможно, квантовые частицы — соучаствуют в творении. Подобную точку зрения — соучастия свободных, сотворенных Богом существ, и Бога в ежесекундно становящемся новом мире отстаива-

ют также сторонники английской школы богословия процесса, находящиеся под влиянием английского философа Уайтхеда» [36].

Отметим, что такое понимание творения много глубже того, которое многие усматривают при сопоставлении теории Большого взрыва в астрофизике с ветхозаветным описанием творения мира. Кто может гарантировать, что современная физическая картина мира останется такой же хотя бы до середины XXI века? В физике обсуждаются и иные сценарии эволюции Вселенной, среди которых есть и исключающие идею Большого взрыва. Если творение понимать в обобщенном смысле, то альтернативные физические идеи не вступят в противоречие с расширенным пониманием христианской идеи творения мира.

2. Как известно, понимание Троицы различно в западной (католической и протестанской) и восточной (православной) ветвях христианства. Расхождение состоит в понимании того, от Кого исходит Бог-Святой Дух: только от Бога-Отца (православная концепция) или и от Бога-Отца, и от Бога-Сына (западная концепция). Это отличие, кажущееся для непосвященного малозначимым, но являющееся чрезвычайно существенным, относящимся к догмату мироустройства, в значительной мере обусловило развитие западной и восточной культуры и повлияло на процесс становления науки.

Введение положения об исхождении Святого Духа не только от Бога-Отца, но и от Бога-Сына было произведено западной церковью в IX веке и получило название филиокве (Filioque). Как утверждает В. Н. Лосский, «именно Filioque и был «первопричиной» разделения Востока и Запада; остальные доктринальные разногласия — только его последствия. (...) В формуле исхождения Святого Духа от Отца и Сына греки увидели тенденцию подчеркнуть единство природы в ущерб реальному различению Лиц: соотношения по происхождению, не приводящие Сына и Духа непосредственно к Единому Источнику — Отцу, одного как Рожденного, Другого — как Исходящего, — становятся некой «системой соотношений» в единой сущности, чем-то логически сущности последствующим. Действительно, в умозрении Западной Церкви Отец и Сын изводят Дух Святой, поскольку Они представляют единую природу; в свою очередь Святой Дух, который для Западных богословов является «связью между Отцом и Сыном», означает природное единство двух первых Лиц. Ипостасные свойства (отцовство, рождение, исхождение) оказываются более или менее растворенными в природе или сущности, которая как начало единства Святой Троицы становится дифференцированным соотношением: соотнесясь к Сыну — как Отец, к Святому Духу — как Отец и Сын. Отношения, вместо того, чтобы отличать Ипостаси, с Ни-

ми отождествляются. Позднее святой Фома Аквинский это и скажет: „Название «Лицо» означает отношение“» [76, с. 45–46].

В этой дискуссии опять всплыло понятие «отношения», столь важное в определении основ бинарной геометрофизики и всего реляционного видения физического мироздания. Как видно из процитированного текста, основные положения бинарной геометрофизики (на первичном уровне $R_\mu(\mu)$) соотносимы именно с западным пониманием догмата Троицы. В исходных положениях бинарной геометрофизики постулируются два множества элементов, сначала не разделяя, какое из них первое и какое второе. Отношения между элементами двух множеств задаются симметричным образом. Направление же развития процесса пока не задано и в каком-то смысле различие между аналогом Бога-Отца и аналогом Бога-Сына стирается. Как один, так и второй могут быть первыми.

Трактовка двух множеств как начальное и конечное в бинарной геометрофизике возникает на более позднем этапе развития теории, когда рассматривается влияние на взаимодействие частиц со стороны всей окружающей материи мира, т. е. когда учитывается принцип Маха. Напомним, в теории прямого межчастичного взаимодействия это соответствует учету мирового поглотителя Фейнмана—Уилера. Кроме того, необходимо перейти к макроприбору. Именно на этом этапе возникают понятия «раньше-больше» и все связанное с квантовой механикой и физическим принципом причинности. Строго говоря, только на этом этапе вступает в силу интерпретация одного множества через начальные состояния, а второго — через конечные состояния системы.

Возвращаясь к различию понимания Святой Троицы в Восточной и Западной Церквах, полагаем, что исхождение Святого Духа только от Бога-Отца соответствует учету физического принципа причинности (запаздывающего характера взаимодействий). Таким образом, можно заключить, что справедливы как западное, так и восточное понимания догмата Святой Троицы. Западное понимание оказывается более элементарным, не учитывающим влияние окружающего мира, подобно теории прямого межчастичного взаимодействия Фоккера без мирового поглотителя Фейнмана—Уилера. Восточное (православное) понимание Троицы более близко макрофизике (относительно макроприбора) при учете влияния мирового поглотителя (т. е. соответствует теориям $R_m^M(\mu)$ или $R_m(m)$).

В работе А. А. Гриба обсуждается вопрос о двух ветвях цивилизации, развивавшихся на основе различных пониманий догмата Троицы. Он пишет: «И теперь опять вернемся к диспуту о филиокве. Какая цивилизация возникает, если Дух Святой исходит не только от Отца,

но и от Сына (филиокве)? Сын — это Логос — объективное. Но тогда, наблюдая объективное, можно приобщиться Духу Святому. Вдохновение заменяется наблюдением, изучением. (...) Изучая Библию, изучая устройство Вселенной, можно приобщиться Духу Святому, как тайному их смыслу. Возможны доказательства Бытия Божия из наблюдения Вселенной, пользуясь обычным человеческим разумом. Наконец, Дух Святой может быть объективно воплощен в земной организации — Римско-католической Церкви и в ее главе как распорядителе Духа Святого — папе Римском. Отсюда ясно, что современная наука возникла в западной Европе как попытка раскрыть тайный смысл Вселенной и истории. Книга природы есть другое священное Писание, свидетельствующее о Боге — эта идея была провозглашена Галилео Галилеем.

«Мы открыли текст, написанный рукой Бога!» — сказал об открытии уравнений Максвелла великий немецкий физик Генрих Герц. Тогда можно сказать вместе с современным английским физиком и богословом Дж. Полкингхорном, что святые — люди, на которых сошла благодать Духа Святого, — это не только канонизированные Церковью святые, но и великие ученые — Галилей, Ньютон, Максвелл, Эйнштейн и другие» [36].

14.10. Наука и религия

Классики теоретической физики и математики XX века М. Планк, Г. Вейль, В. Гейзенберг, В. Паули, С. Вайнберг и другие придавали вопросам соотношения науки (физики) и религии[1] большое значение. К религиозным людям относил себя и А. Эйнштейн, писавший: «Основой всей научной работы служит убеждение, что мир представляет собой упорядоченную и познаваемую сущность. Это убеждение зиждется на религиозном чувстве. Мое религиозное чувство — это почтительное восхищение тем порядком, который царит в небольшой части реальности, доступной нашему слабому разуму» [147, с. 142].

Свое понимание религии Эйнштейн изложил в статье «Религия и наука» [150]. В ней он выделил три ступени в развитии религиозных представлений: религии страха (в частности, язычество), религии морали, к которым относил христианство, иудаизм и ислам, и третью сту-

[1] Понятие «религия» включает в себя материальную составляющую (храмы, монастыри, учебные заведения и т. д.), рациональную составляющую (религиозные учения, богословие) и духовный опыт, что еще раз подтверждает метафизический характер принципа фрактальности. Обычно при обсуждении соотношения науки и религии имеют в виду именно рациональную составляющую.

пень — религию будущего: «Существует еще и третья ступень религиозного чувства, хотя в чистом виде она встречается редко. Я назову эту ступень космическим религиозным чувством. Тому, кто чужд этому чувству, очень трудно объяснить, в чем оно состоит, тем более, что антропоморфной концепции Бога, соответствующей ему, не существует. Индивидуум ощущает ничтожность человеческих желаний и целей, с одной стороны, и возвышенность и чудесный порядок, проявляющийся в природе и в мире идей, — с другой. Он начинает рассматривать свое существование как своего рода тюремное заключение и лишь всю Вселенную в целом воспринимает как нечто единое и осмысленное» [150]. Говоря о научном подвиге Кеплера и Ньютона, Эйнштейн признался: «Только тот, кто сам посвятил свою жизнь аналогичным целям, сумеет понять, что вдохновляет таких людей и дает им силы сохранить верность поставленной перед собой цели, несмотря на бесчисленные неудачи. Люди такого склада черпают силу в космическом религиозном чувстве. Один из наших современников сказал, и не без основания, что в наш материалистический век серьезными учеными могут быть только глубоко религиозные люди» [150].

Известно, что Эйнштейн не относил себя к какой-либо конкретной религиозной конфессии, и, как представляется автору, его слова не следует воспринимать в пользу формирования некой новой «космической» религии. Высказывание ученого о трех стадиях религии правильнее понимать как три уровня отношения к ней. В зависимости от возраста, воспитания, образования и мироощущения человека христианство (и другие религии) может восприниматься и как религия страха (на самом примитивном уровне как боязнь наказаний за грехи), и как религия морали (именно так понимает его большинство), и как космическая религия. Сам Эйнштейн писал, что «зачатки космического религиозного чувства можно обнаружить на более ранних ступенях развития, например, в некоторых псалмах Давида и книгах пророков Ветхого Завета. Гораздо более сильный элемент космического религиозного чувства, как учат нас работы Шопенгауэра, имеется в буддизме».

Каждому из трех названных уровней восприятия религии соответствует своя трактовка ее соотношения с наукой.

1. **Религии страха** ближе всего примитивное, буквальное понимание Библии и других религиозных текстов. При этом подходе особое внимание акцентируется на чудесах, на воскрешении из мертвых, на сотворении из «ничего», на грядущем конце света и ответе за совершенные прегрешения. На этой почве, в частности, возник креационизм в своих крайних формах, сторонники которого доказывают, ссылаясь на

Библию, что возраст Вселенной от сотворения мира Богом всего семь с половиной тысяч лет. Под эти воззрения подводится «солидная научная база» и делаются далеко идущие выводы: геология, палеонтология и другие науки о прошлом Земли и ее обитателей должны быть упразднены, а современная космология и теория относительности объявлены ересью, как противоречащие Священному писанию.

Подобный примитивный подход был одной из причин противостояния науки и религии, что в результате привело к возникновению атеизма, являющегося, кстати сказать, своего рода религией, но альтернативной.

2. Понимание христианства (и других религиозных учений) как **религии морали** характеризуется иным отношением к науке. Этого взгляда придерживался один из создателей квантовой механики Макс Планк, считавший, что наука и религия прекрасно сочетаются друг с другом, потому что они относятся к совершенно различным сферам культуры: «Естествознание нужно человеку для знания, религия нужна ему для действия» [93, с. 262]. Близкой позиции придерживался Б.В.Раушенбах: «На самом деле, религия наукой никогда не занималась, потому что это не ее дело. Ее дело — спасение души человека, а такие вещи, как «дважды два — четыре», ее не касаются. И поэтому всегда, когда вопрос касался науки, религия занимала совершенно правильную позицию, присоединяясь ко мнению большинства ученых. Таким образом, она порой автоматически становилась противницей всего нового и ее часто упрекали в том, что она оказывает сопротивление прогрессивным научным идеям» [97].

Если во главу угла ставить лишь вопросы морали и нравственности, «спасения души человека», то наука может видеться чем-то посторонним, представляющим другую сферу деятельности. Позиция Планка и Раушенбаха сохраняет расщепленность мировосприятия на отдельные сферы, не способствуя их более глубокому осмыслению.

3. Ряд классиков теоретической физики XX века В. Гейзенберг, В.Паули, Н.Бор и другие выступал за более глубокое понимание религии, можно сказать, в духе **космической религии** Эйнштейна. Так, В. Гейзенберг, касаясь позиции М. Планка, писал: «Обе сферы, объективная и субъективная стороны мира, у него разъединены — но я должен признаться, что мне такое разделение немного не по душе. Я сомневаюсь, что человеческие общества могут долгое время жить с таким резким разграничением знания и веры» [33, с. 209]. В этой же книге Гейзенберга «Физика и философия. Часть и целое» приведено высказывание по этому же вопросу В. Паули: «. . . я не вижу большого смысла в

философии Планка, даже если она логически выдержана и даже если я уважаю вытекающую из нее жизненную установку. Эйнштейновское мировоззрение мне ближе. Господь Бог, о котором он столь охотно вспоминает, имеет у него отношение к неизменным природным законам. У Эйнштейна есть чувство центрального порядка вещей. Он ощущает, что он сильно и непосредственно пережил эту простоту при открытии теории относительности. Конечно, отсюда еще далеко до догматов религии. Эйнштейн едва ли привязан к какой-либо религиозной традиции, и я считал бы, что представление о личностном Боге ему совершенно чуждо. Однако для него не существует разрыва между наукой и религией. Центральный порядок принадлежит для него как к субъективной, так и к объективной области, и это представляется мне наилучшим исходным пунктом» [33, с. 208].

Близкой позиции придерживался Н. Бор: «Если религии всех эпох говорят образами, символами и парадоксами, то это, видимо, потому, что просто не существует никаких других возможностей охватить ту действительность, которая здесь имеется в виду. Но отсюда еще вовсе не следует, что она не подлинная действительность. И расщепляя эту действительность на объективную и субъективную стороны, мы вряд ли здесь далеко продвинемся. Поэтому я как раскрепощение нашего мышления ощущаю то, что развитие физики за последние десятилетия показало нам, насколько проблематичны понятия «объективности» и «субъективности». Это обнаружила уже теория относительности, (...) в квантовой механике отход от этого идеала произошел намного более радикально» [33, с. 213].

Вернемся к высказываниям А. Эйнштейна о том, в чем он видел свою религиозность: «Знать, что на свете есть вещи, непосредственно недоступные для нас, но которые реально существуют, которые познаются нами и скрывают в себе высшую мудрость и высшую красоту (...), знать и чувствовать это — есть источник истинной религиозности. В этом смысле, и только в этом смысле, я принадлежу к религиозным людям» [147, с. 234]. Однако, здесь сказано далеко не все. Беремся утверждать, что религиозность Эйнштейна была значительно шире. В нее входила и его непоколебимая вера в правильность избранной программы (парадигмы) всеобщей геометризации физики, в возможность экстраполировать общую теорию относительности на описание Вселенной в целом, в справедливость принципа Маха, и вера во многие другие идеи и принципы, использовавшиеся в его научной деятельности.

Разделяя позицию, согласно которой **религия имеет дело с той же действительностью, что и физика, однако рассматривает ее**

под особым углом зрения, полагаем, что мудрее не отвергать старое и на развалинах возводить новую религию, а попытаться прочитать тексты Библии и других мировых религиозных памятников на базе научных достижений рубежа второго и третьего тысячелетий. Автор относится к мировым религиозным и философским учениям как к сокровищнице понятий, идей и приемов рассуждений, созданной человечеством в течение многих веков. Содержащиеся в них истины, изложенные посредством символов, аллегорий, метафор и иных художественных средств, допускают прочтение и в духе «космической религии». В настоящей работе сделана попытка соединить опыт прошлого, отраженный в мировых философских и религиозных учениях, с достижениями физики XX века.

В заключение напомним слова В. И. Вернадского из статьи «Научное мировоззрение» о важности синтеза науки, философии и религии: «Не говоря уже о неизбежном и постоянно наблюдаемом питании науки идеями и понятиями, возникшими как в области религии, так и в области философии, — питании, требующем *одновременной работы* в этих различных областях сознания, необходимо обратить внимание на *обратный* процесс, проходящий через всю историю человечества. Рост науки неизбежно вызывает, в свою очередь, необычайное расширение границ философского и религиозного сознания человеческого духа; религия и философия, восприняв достигнутые научным мировоззрением данные, все дальше и дальше расширяет глубокие тайники человеческого сознания» [19, с. 189].

Заключение

В физике XX века, как и в естествознании (натурфилософии) прошлых веков, важное значение имели идеи и принципы метафизики, истоки которой лежат в философско-религиозных учениях Востока и Запада.

В рамках фундаментальной теоретической физики, имеющей дело с системами, которые поддаются строгому математическому описанию, позволяя отделить существенное от второстепенного, и достигшей высокой степени абстрагирования, удается выделить основные принципы метафизики: 1) принципы двоичности и троичности, 2) принцип фрактальности, 3) принцип предельного монизма, 4) принцип триединства первоначала, 5) принцип проецирования.

1. Принципы двоичности и троичности. Метафизику предлагается понимать как иерархию парадигм, основанную на двоичности и троичности в фундаменте мироздания, т. е. следует говорить не о множестве различных метафизик, как ранее полагали, а о единой системе парадигм.

Двоичность проявляется, прежде всего, в холистском и редукционистском подходах к мирозданию. При холистском взгляде (в монистической парадигме) онтологична единая, нераздельная первооснова мира, тогда как при редукционистском подходе онтологичны его составные части — категории (начала).

Троичность проявляется в редукционистском подходе в выделении именно трех основополагающих начал (категорий) мироздания. В метафизике философско-религиозных учений таковыми являются материальное, идеальное и духовное начала, в метафизике материального начала (в естествознании) ими являются три физические категории: пространство-время, поля переносчиков взаимодействий и частицы.

В систему метафизических категорий входит класс из шести дуалистических парадигм, имеющих промежуточный характер между монистической и триалистической парадигмами. Их число — шесть — определяется количеством возможных способов объединения пар категорий в некие обобщенные. Самостоятельность категории или вхождение ее в состав более общей соответствует двоичности ее понимания.

Шесть смешанных дуалистических парадигм естественно разбить на *три пары родственных парадигм — миропониманий*, в которых так или иначе оказывается выделенной одна из категорий. Эти три класса парадигм можно наглядно представить в виде трех взаимно перпендикулярных проекций куба.

Разделим шесть дуалистических парадигм на *две тройки — одногранные и двугранные* — по характеру образования обобщенных категорий.

Собирая вместе монистическую, триалистическую и шесть дуалистических парадигм, приходим к *иерархии метафизических парадигм*, в которых усматривается аналогия с китайской даосистской системой из восьми ($8 = 2^3$) триграмм. *Изложенные в книге физическое, геометрическое и реляционное миропонимания можно представить как восхождение по системе китайских триграмм снизу вверх от триалистической к монистической парадигме.* На рисунке 15.1 *тройственность* категорий соответствует тройкам отрезков. *Двоичность* восприятия сути категорий на рисунке выражена двумя видами отрезков: сплошных и прерывистых.

Пусть сплошные отрезки изображают категории, рассматриваемые в качестве первичных, самостоятельных, а прерывистые отрезки соответствуют категориям, включенным в некие обобщенные, тогда одногранные парадигмы можно связать с тремя триграммами с одним сплошным и двумя прерывистыми отрезками. Три триграммы с парой сплошных отрезков и одним прерывистым можно интерпретировать через двугранные парадигмы. Примером может служить теория прямого межчастичного взаимодействия в реляционном видении мира. Таким образом интерпретируется шесть триграмм.

Триграмме (нижней) из трех сплошных отрезков соответствует триалистическая парадигма, опирающаяся на три самостоятельные физические категории. Оставшуюся, восьмую триграмму можно понимать как мечту физиков-теоретиков XX века, стремившихся найти единую физическую сущность, из которой следовали бы все названные физические категории.

Аналогичным образом можно классифицировать философско-религиозные учения, заменив три физические категории на соответствующие им три начала. Имеется существенное различие в эволюции физических теорий и философско-религиозных учений: если эволюция в физике происходила снизу вверх (от триалистической к монистической парадигме), то в развитии философско-религиозных систем можно усмотреть обратную тенденцию сверху вниз (от монотеизма к самостоятельности отдельных начал).

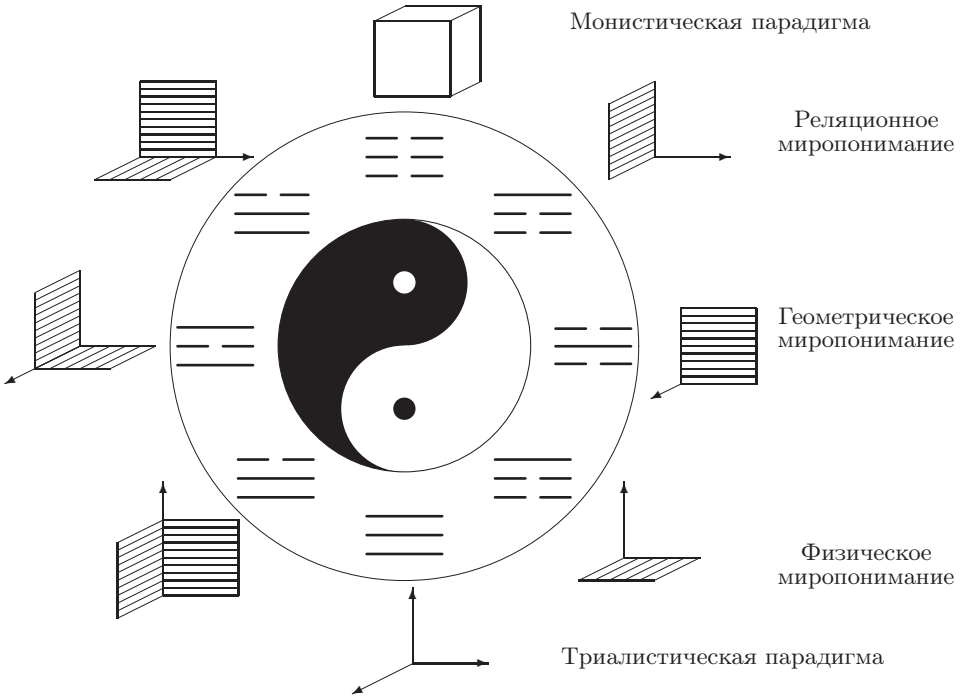

Рис. 1. Китайская система триграмм и парадигмы фундаментальной теоретической физики

2. Принцип фрактальности: каждая из выделенных частей (категорий, начал) подобна целому, т. е. в каждой из категорий проявляются черты всех других категорий.

Наличие аналогий в философско-религиозных учениях и в физических теориях является отражением метафизического принципа фрактальности. В физике, как системе знаний о **материальном начале**, отражается единое целое, являющееся предметом рассмотрения философско-религиозных учений. В метафизике физики материальному началу соответствует категория частиц, идеальному (рациональному) началу — категория пространства-времени, а духовному началу — категория полей переносчиков взаимодействий.

В совмещении философско-религиозных и естественнонаучных парадигм можно усмотреть аналогию с частью гексаграмм древнего китайского учения, где две системы триграмм объединяются в систему гексаграмм. Напомним, что на ряде древних рисунков типа 1.1. внутри круга изображалась система из восьми триграмм, соответствующих земному миру, а снаружи рисовалась аналогичная система из восьми триграмм,

относящихся к миру небесному. Все возможные комбинации двух восьмерок триграмм составляют систему из 64 гексаграмм. В нашем подходе имеется существенное различие: на рисунке 14.3 фактически выделена специальная восьмерка гексаграмм, определенная указанным выше соответствием.

Система знаний об **идеальном (рациональном) начале** соответствует современной математике. Отмечалось, что в ее основаниях также проявляются три начала в виде выделенных Бурбаки трех математических структур, из которых формируются все разделы математики.

Рассмотрение системы представлений о **духовном начале**, составляющих предмет богословия, выходит за пределы данного исследования.

Принцип фрактальности проявляется и при анализе каждой из отдельных физических категорий: пространства-времени, полей переносчиков взаимодействий, частиц.

3. Согласно принципу предельного монизма, монистическая парадигма возникает на пределе делимости одной из категорий. В физике таковой была категория частиц. Таким образом, для холизма и редукционизма имеет место своеобразная дополнительность.

В холистском подходе принцип фрактальности превращается в принцип тождества монистических парадигм.

4. Принцип триединства первоначала монистической парадигмы. В основе монистической парадигмы (холистского подхода) лежат представления о *едином нераздельном первоначале*, которое в древних учениях было воплощено в идее о едином Творце всего сущего: в даосизме это Дао, в христианстве — Бог. В диалектическом материализме в качестве такового была провозглашена материя. В программах теоретической физики XX века первооснова физического мироздания виделась как единый вакуум или как единая геометрия мира (прагеометрия), или как физическая структура — в зависимости от пути, по которому шли исследователи.

Первоначало монистической парадигмы проявляется в виде комбинации двуединства и триединства. Широко известна метафизическая идея **двуединства** — о двух взаимодополняющих сторонах первоосновы (в отличие от двоичности или дуализма в редукционистском подходе). В античности двуединство отражалось в диалектическом характере философии Пифагора, Платона и их школ. В даосизме эта идея выражалась в виде двух противоположностей: инь и ян. В философии нового времени двуединство нашло свое воплощение в диалектике, а в квантовой физике XX века эта идея отразилась в виде боровского принципа дополнительности.

Триединство первоначала как необходимость трех сторон (в отличие от троичности или триалистичности), включающих в себя и двуединство, сформулированное еще Аристотелем, проявилось в христианстве в виде догмата Святой Троицы. Как заметил В.Гейзенберг, аристотелево триединство отразилось и в квантовой механике. В бинарной геометрофизике триединство реализуется в виде двух множеств элементов (двуединство) и комплексных отношений между ними как третьей стороны первоначала.

Комбинация двуединства и триединства отражается в ранге (6,6) бинарной системы комплексных отношений, ключевой для физики, причем как в виде *мультипликативной композиции* — в факте $6 = 2 \times 3$, так и в *аддитивной композиции* — в расщеплении на две подструктуры, когда $5 = 2 + 3$ параметров, характеризующих любой элемент, распадаются на **два** внешних параметра, ответственных за компоненты импульсов частиц, и на **три** внутренних параметра, описывающих заряды элементарных частиц.

Комбинация двуединства и триединства в ранге (6,6) проявляется в виде *трех* элементов, описывающих элементарные частицы (лептоны и кварки), в существовании *трех* цветовых зарядов хромодинамики, в наличии именно *трех* поколений элементарных частиц (в электрослабых взаимодействиях), в *двух* видах ароматов частиц (верхних и нижних), в виде *трех* классических пространственных измерений, в *двух* знаках сигнатуры (плюс и минус) пространства-времени и т. д.

5. Принципы проецирования. Для перевода обобщенных понятий дуалистических и монистической парадигм на представления триалистической парадигмы, т. е. на язык, привычный человеку (экспериментатору), используется методика проецирования, которая дает возможность понять и проверить содержание теорий, построенных на основе меньшего числа категорий. При этом ключевую роль играет выделение тел или систем частиц, составляющих тело отсчета или макроприбор. Методы проецирования также широко используются в философии и в социальной сфере.

Задача физики состоит не только в построении теории в рамках (холистской) монистической парадигмы, но и в исследовании процесса обратного перехода от нее к категориям и понятиям (редукционистской) триалистической парадигмы. Именно на этом пути открываются возможности для обоснования известных свойств категорий классической физики и решения ряда концептуальных проблем теоретической физики. В книге охарактеризован путь решения этих проблем. Несомненно, эти исследования будут иметь большое прикладное значение.

Возвращаясь к крылатой фразе, приписываемой Ньютону: «Физика, бойся метафизики!», заметим, что опасность представляют лишь противостояния взглядов, соответствующих отдельным парадигмам. Понимание же общей системы метафизических парадигм позволяет упорядочить и согласовать друг с другом физические программы различных научных школ.

Естествоиспытатели всегда опирались на ту или иную метафизическую парадигму, однако при исследовании конкретных закономерностей руководствовались методами и принципами существующей теории. Лишь на достаточно высоком уровне развития науки, когда фундаментальная теоретическая физика вплотную приблизилась к принципам метафизики, их принципы оказались на одном уровне, взаимно дополняя друг друга.

Стремление построить единую физическую теорию (в рамках метафизической монистической парадигмы), отчетливо проявившееся в фундаментальной теоретической физике XX века, соответствует концепции цельного знания («положительного всеединства»), развивавшейся русскими философами «серебряного века» и их последователями: В. С. Соловьевым, С. Н. и Е. Н. Трубецкими, С. Л. Франком, А. Ф. Лосевым и другими.

Представляется, что изложенное в книге позволяет понять истоки ряда важных физических проблем и открывает тем самым новые направления исследований. Хочется надеяться, что эта работа окажется полезной и для философов, способствуя более тесному сотрудничеству представителей различных сфер науки и культуры.

Приложение. Заряды кварков и лептонов в бинарной геометрофизике

В бинарной геометрофизике при анализе прообразов сильных и электрослабых взаимодействий вскрываются симметрии зарядов (характеристик) кварков и лептонов, описываемых 3×3-матрицами внутренних параметров. Напомним, заряды кварков и лептонов выступают в виде коэффициентов из комбинаций внутренних параметров при произведениях 4-скоростей двух взаимодействующих частиц. Наличие этих симметрий — удивительное свойство физики микромира, позволяющее найти заряды частиц и известные соотношения между ними, выводимые в калибровочных моделях физических взаимодействий из других соображений.

Для нахождения зарядов (характеристик) кварков и лептонов достаточно знания, во-первых, факта существования трех каналов физических взаимодействий (двух нейтральных и заряженного), во-вторых, того, что в нейтральных каналах заряды двух частиц умножаются, в-третьих, недиагонального характера взаимодействий через заряженные векторные «бозоны» и, в-четвертых, условий суммарной симметрии трех каналов для всех кварков в сильных взаимодействиях или для левых компонент частиц (кварков или лептонов) в электрослабых взаимодействиях.

В данном Приложении единообразно рассмотрены отдельно симметрии зарядов 1) кварков в сильных взаимодействиях, 2) кварков в электрослабых взаимодействиях, 3) лептонов в электрослабых взаимодействиях. Эти симметрии можно было бы усмотреть и в рамках стандартной теории, однако этому препятствует различный вид пропагаторов промежуточных бозонов в разных каналах взаимодействий, тогда как на самом элементарном уровне бинарной геометрофизики понятие пропагаторов еще отсутствует и симметрия проявляется в «очищенном» виде.

П.1. Симметрии зарядов кварков в сильных взаимодействиях

Выпишем в виде таблицы суммы коэффициентов при произведениях соответствующих 4-скоростей (произведения соответствующих зарядов) двух взаимодействующих кварков для трех каналов: A-канала (через нейтральные A-кварки), B-канала (через нейтральные B-кварки) и W-канала (через заряженные глюоны). Как уже было отмечено, в нейтральных каналах заряды умножаются, а в заряженных каналах заряды отличны от нуля только в недиагональных слагаемых таблицы. В таблице по вертикали отложены внешние 4-скорости трех кварков первого бариона, а по горизонтали — внешние 4-скорости трех кварков второго бариона.

Постулируем, что *имеет место суммарная симметрия вкладов всех трех каналов*, то есть:

Таблица П.1.1.

	$q_{(1)}$	$q_{(2)}$	$q_{(3)}$
$q_{(1)}$	$A_1^2 + g_{(1)}^2 = c^2;$	$A_1A_2 + g_{(1)}g_{(2)} + W^2 = c^2;$	$g_{(1)}g_{(3)} + W^2 = c^2$
$q_{(2)}$	$A_1A_2 + g_{(1)}g_{(2)} + W^2 = c^2;$	$A_2^2 + g_{(2)}^2 = c^2;$	$g_{(2)}g_{(3)} + W^2 = c^2;$
$q_{(3)}$	$g_{(1)}g_{(3)} + W^2 = c^2;$	$g_{(2)}g_{(3)} + W^2 = c^2;$	$g_{(3)}^2 = c^2.$

где c — некоторая константа, одинаковая для всех кварков. Легко показать, что сформулированный постулат выполняется в стандартной хромодинамике.

В таблице (П.1.1) содержатся только 6 независимых соотношений, которые можно понимать как уравнения относительно 6 неизвестных зарядов: A_1, A_2 — двух отличных от нуля зарядов кварков в A-канале, $g_{(1)}$, $g_{(2)}$, $g_{(3)}$ — трех зарядов кварков в B-канале и W — заряда кварков во взаимодействии через заряженные глюоны. Решая эту систему уравнений, находим все заряды через одну константу c:

$$A_1 = -A_2 = \pm\frac{\sqrt{3}}{2}c; \quad g_{(1)} = g_{(2)} = \mp\frac{c}{2}; \quad g(3) = \pm c; \quad W = \frac{3}{2}c^2. \quad \text{(П.1.2)}$$

Легко видеть, что это решение соответствует модели хромодинамики (см. формулы в (4.6.4)), если положить, что $c = g_0/\sqrt{3}$, где g_0 — константа сильных взаимодействий.

Полученные решения для зарядов сильных взаимодействий через нейтральные глюоны графически проиллюстрированы на рисунке П.1.

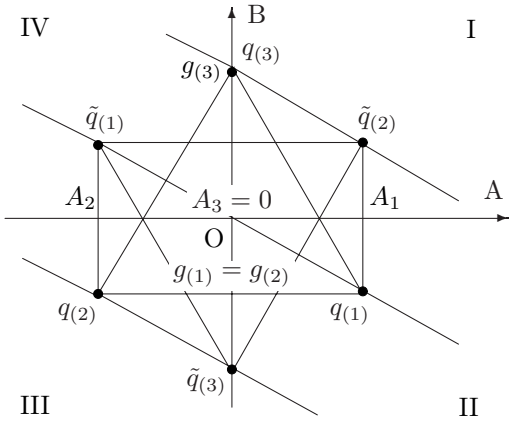

Рис. П.1. Графическая иллюстрация зарядов сильных взаимодействий

По горизонтальной оси отложены значения зарядов в A-канале, а по вертикальной оси — заряды в B-канале. При построении графика были использованы верхние знаки из решений (П.1.2). Можно показать, что заряды трех кварков находятся на окружности радиуса c с центром в начале координат. Из решений видно, что, соединив отрезками положения трех кварков, получаем равносторонний треугольник с одной из сторон, параллельной горизонтальной оси. На этом же рисунке изображен другой треугольник, соответствующий иному возможному выбору знаков.

П.2. Симметрии зарядов кварков в электрослабых взаимодействиях

Для электрослабых взаимодействий кварков имеют место алгебраические симметрии, аналогичные тем, что были найдены для их сильных взаимодействий. Поскольку имеются две пары кварков (верхние-нижние и левые-правые), то алгебраические симметрии следует характеризовать посредством 4×4-таблиц, в которых по горизонтали и вертикали отмечены кварки u_L, u_R, d_L, d_R. Будем рассматривать кварки лишь одного поколения. Это означает, что взаимодействие через заряженные векторные $W^{\pm}$-бозоны осуществляется только для левых компонент кварков u_L и d_L. При взаимодействиях через два нейтральных канала опять получаются произведения зарядов соответствующих кварков.

Постулируем суммарную симметрию левых компонент кварков, соответствующую симметриям кварков в сильных взаимодействиях. Это значит, что суммарные вклады во взаимодействия левых компонент u_L-

и d_L-кварков для четырех комбинаций равны друг другу. Обозначим их величиной B_1^2. Кроме того, из симметрии левых компонент кварков следуют равенства вкладов u_L- и d_L-кварков во взаимодействия с u_R и d_R кварками. Обозначим их пока неизвестными величинами соответственно Y_1 и Y_2. Суммарные значения вкладов во взаимодействия правых компонент кварков u_R, d_R и их между собой соответственно обозначим величинами: B_2^2, B_4^2 и Y_3. Они уже не обладают суммарными симметриями левых компонент.

Просуммируем соответствующие слагаемые и приравняем их введенным величинам. Результирующие выражения представим в виде таблицы:

Таблица П.2.1.

	u_L	u_R	d_L	d_R
u_L	$g_{uL}^2+A_u^2= B_1^2;$	$g_{uL}g_{uR}+A_u^2= Y_1;$	$g_{uL}g_{dL}+A_uA_d+W^2= B_1^2;$	$g_{uL}g_{dR}+A_uA_d= Y_2$
u_R	$\cdots$	$g_{uR}^2+A_u^2= B_2^2;$	$g_{uR}g_{dL}+A_uA_d= Y_1;$	$g_{uR}g_{dR}+A_uA_d= Y_3;$
d_L	$\cdots$	$\cdots$	$g_{dL}^2+A_d^2= B_1^2;$	$g_{dL}g_{dR}+A_d^2= Y_2;$
d_R	$\cdots$	$\cdots$	$\cdots$	$g_{dR}^2+A_d^2= B_4^2.$

Здесь многоточием обозначены слагаемые под диагональю, равные соответствующим слагаемым над диагональю.

Выписанные в (П.2.1) 10 соотношений будем рассматривать как 10 уравнений на 10 неизвестных величин: g_{uL}, g_{uR}, g_{dL}, g_{dR} — заряды взаимодействий кварков через Z-бозоны, A_u, A_d — электрические заряды верхних и нижних кварков, W^2 — заряд взаимодействий через $W^{\pm}$-бозоны и 3 величины: Y_1, Y_2 и Y_3. Заданными будем считать три величины: B_1^2, B_2^2 и B_4^2. Решения находятся в виде:

$$A_u^2 = 4A_d^2 = \frac{B_4^2(4B_1^2 - B_4^2)}{B_1^2 + 2B_4^2}; \tag{П.2.2}$$

$$\begin{aligned} g_{uL}^2 &= \frac{(B_1^2 - B_4^2)^2}{B_1^2 + 2B_4^2}; \quad g_{uR}^2 = \frac{9B_4^4}{B_1^2 + 2B_4^2}; \\ g_{dL}^2 &= \frac{(2B_1^2 + B_4^2)^2}{4(B_1^2 + 2B_4^2)}; \quad g_{dR}^2 = \frac{9B_4^4}{4(B_1^2 + 2B_4^2)}. \end{aligned} \tag{П.2.3}$$

$$Y_1 = B_4^2; \quad Y_2 = -\frac{1}{2}B_4^2; \quad Y_3 = -2B_4^2; \quad W^2 = \frac{1}{2}(4B_1^2 - B_4^2). \tag{П.2.4}$$

Перейдем к стандартным представлениям параметров g_{sr} электрослабых взаимодействий кварков, для чего используем выражение для

g_{uL} из формул (4.6.1) в калибровочной модели:

$$g_{uL} = \pm 2\sqrt{B_1^2 + 2B_4^2}\left(\frac{1}{2} - \frac{3B_4^2}{2(B_1^2 + 2B_4^2)}\right) \equiv \pm B_0\left(\frac{1}{2} - \frac{2}{3}\sin^2\theta\right), \tag{П.2.5}$$

откуда находятся выражения для общепринятых величин:

$$\frac{2}{3}\sin^2\theta = \frac{3B_4^2}{2(B_1^2 + 2B_4^2)}, \quad B_0 = 2\sqrt{B_1^2 + 2B_4^2}. \tag{П.2.6}$$

Оставшиеся заряды слабых взаимодействий принимают вид

$$g_{uR} = \mp\frac{3B_4^2}{\sqrt{B_1^2 + 2B_4^2}} = \mp B_0\left(\frac{2}{3}\sin^2\theta\right); \tag{П.2.7}$$

$$g_{dL} = \mp\frac{2B_1^2 + B_4^2}{2\sqrt{B_1^2 + 2B_4^2}} = \mp B_0\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{3}\sin^2\theta\right); \tag{П.2.8}$$

$$g_{dR} = \pm\frac{3B_4^2}{2\sqrt{B_1^2 + 2B_4^2}} = \pm B_0\left(\frac{1}{3}\sin^2\theta\right), \tag{П.2.9}$$

соответствующий общепринятым выражениям для кварков в (4.7.1). В дальнейшем будем сопоставлять верхние знаки кваркам, а нижние — антикваркам. (В написании формул при отождествлениях с зарядами g_{aB} следует подразумевать верхние знаки.)

Проиллюстрируем полученные выражения для зарядов кварков с помощью графика на рисунке П.2. На нем, как и на аналогичном графике П.1 для случая сильных взаимодействий, на горизонтальной оси отложены значения зарядов А-канала (электрические заряды (A)), а вдоль вертикальной оси — значения зарядов В-канала, то есть заряды слабых взаимодействий g_{sr}.

Из рисунка П.2 видно, что векторы левых кварков лежат в первом и третьем квадрантах плоскости на пересечениях окружности радиуса B_1 с вертикалями, проведенными через соответствующие зарядовые параметры.

Кварки вместо точек на плоскости можно изображать векторами, проведенными из начала координат (центра окружностей) в соответствующие им точки. Легко показать, что сумма векторов для левых кварков совпадает с суммой векторов для правых кварков:

$$\vec{u_L} + \vec{d_L} = \vec{u_R} + \vec{d_R} \tag{П.2.10}$$

и лежит во втором квадранте на линии, проведенной из начала координат под углом Вайнберга к горизонтальной (зарядовой) линии, которую естественно назвать *линией Вайнберга*.

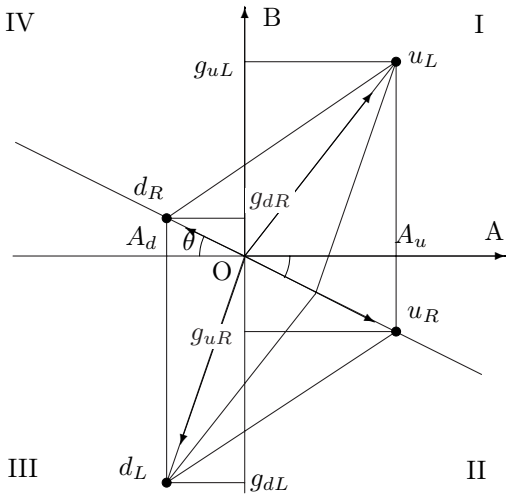

Рис. П.2. Положения двух пар кварков на плоскости электрических (A) и Z-зарядовых (g_{sr}) параметров (B)

Если соединить на рисунке П.2 положения всех четырех кварков, то получится ромб, большая диагональ которого составляет угол Вайнберга с вертикальной осью. Малая диагональ ромба лежит на линии Вайнберга. Линия пересечения двух диагоналей ромба сдвинута вдоль линии Вайнберга вправо и вниз на величину $B_4/2$.

П.3. Алгебраические симметрии зарядов лептонов

По аналогии с сильными и электрослабыми взаимодействиями кварков рассмотрим алгебраические симметрии трех каналов электрослабых взаимодействий лептонов. Как и ранее, эти каналы характеризуются коэффициентами перед парными произведениями трех типов токов: нейтринного (ν), левой компоненты массивного лептона (e_L) и правой компоненты массивного лептона (e_R). Выпишем в виде 3×3-таблицы суммы коэффициентов перед соответствующими произведениями токов в трех каналах взаимодействия и постулируем следующую симметрию суммарных коэффициентов при произведениях трех типов токов:

Таблица П.3.1.

	ν	e_L	e_R
ν	$g_{\nu L}^2 = b^2$;	$g_{\nu L}g_{eL} + W^2 = b^2$;	$g_{\nu L}g_{eR} = Y$;
e_L	$g_{\nu L}g_{eL} + W^2 = b^2$;	$g_{eL}^2 + A_e^2 = b^2$;	$g_{eL}g_{eR} + A_e^2 = Y$;
e_R	$g_{\nu L}g_{eR} = Y$;	$g_{eL}g_{eR} + A_e^2 = Y$;	$g_{eR}^2 + A_e^2 = a^2$

где введены новые константы: b^2, Y и a^2 для правого нижнего элемента матрицы.

Другими словами, можно утверждать, что для суммарных коэффициентов имеет место полная симметрия между левыми компонентами нейтрино и массивного лептона. Все коэффициенты в левой верхней 2×2-подматрице одинаковы (b^2). Одинаковы также суммарные коэффициенты при произведениях левых токов (как нейтрино, так и массивного лептона) с током правой компоненты массивного лептона (Y).

Данная симметрия приводит к тому, что опять независимыми следует считать всего два параметра. В качестве таковых можно выбрать параметры b^2 и a^2. Шесть соотношений в таблице (П.3.1) (три диагональные и три соотношения над диагональю) следует рассматривать как систему уравнений относительно 6 неизвестных: A — электрический заряд электрона, $g_{\nu L}$, g_{eL}, g_{eR} — три заряда слабых взаимодействий через Z-бозоны, W — заряд слабых взаимодействий через заряженные $W^{\pm}$-бозоны и Y.

Решение этой системы уравнений имеет вид:

$$g_{\nu L}=\pm b;\quad g_{eL}=\pm\frac{a^2-2b^2}{2b};\quad g_{eR}=\pm\frac{a^2}{2b};\quad Y=\frac{a^2}{2};\qquad (\text{П.3.2})$$

$$A_e^2\equiv e^2=\frac{a^2(4b^2-a^2)}{4b^2};\quad W^2=\frac{4b^2-a^2}{2};\quad \text{либо}\quad W^2=\frac{a^2}{2}.\qquad (\text{П.3.3})$$

Полученные выражения для констант электрослабых взаимодействий лептонов приводятся к известным в модели Вайнберга—Салама соотношениям, если положить

$$a^2=g_1^2;\quad b^2=\frac{g_1^2+g_2^2}{4}\to\quad g_1=a;\quad g_2=\sqrt{4b^2-a^2},\qquad (\text{П.3.4})$$

тогда имеем общепринятые выражения из (4.5.6):

$$g_{\nu L}=\frac{1}{2}B_0=b;\quad g_{eL}=\left(-\frac{1}{2}+\sin^2\theta\right)B_0=\frac{a^2-2b^2}{2b};$$

$$g_{eR}=B_0\sin^2\theta=\frac{a^2}{2b},\qquad (\text{П.3.5})$$

где

$$B_0=2b=\sqrt{g_1^2+g_2^2};\quad \sin\theta=\frac{a}{2b}.\qquad (\text{П.3.6})$$

Проиллюстрируем полученные выражения для констант электрослабых взаимодействий лептонов графически (см. рис. П.3). По горизонтальной оси, как и ранее, откложены значения электрического заряда

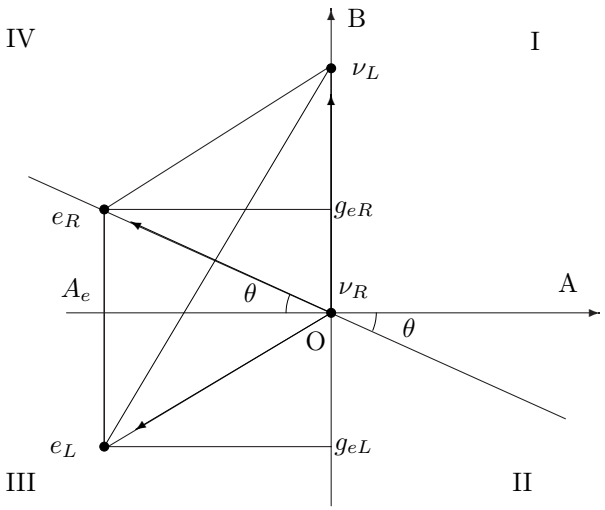

Рис. П.3. Графическая иллюстрация электрических зарядов (A) и зарядов слабых взаимодействий (g_{sr}) лептонов

(A) частицы (заряды A-канала), а по вертикальной оси — значения зарядов слабых Z-взаимодействий g_{sr} (заряды B-канала).

Из двух диагональных уравнений (П.3.1) следует, что левые компоненты двух лептонов можно изобразить точками на окружности радиуса b с центром в начале координат. При этом нейтрино (ν_L) изображается точкой в верхней части вертикальной оси, а левая компонента электрона (e_L) находится в третьем квадранте. Правая компонента электрона (e_R) изображается точкой в четвертом квадранте, находящейся на пересечении окружности радиуса a и вертикали, отстоящей от начала координат влево на расстоянии A. Легко видеть, что сумма двух векторов $\vec{\nu_L}$ и $\vec{e_L}$, проведенных из начала координат в точки соответствующих левых компонент частиц, совпадает с вектором правой компоненты электрона $\vec{e_R}$

$$\vec{\nu_L} + \vec{e_L} = \vec{e_R} \qquad \text{(П.3.7)}$$

и наклонена под углом Вайнберга θ к отрицательной части горизонтальной оси. Очевидно, что линия, проходящая через начало координат и точку e_R, составляет с горизонтальной осью угол Вайнберга, т. е. является линией Вайнберга.

Введем четвертую характерную точку, соответствующую фиктивной правой компоненте нейтрино ν_R с нулевыми зарядами: $A_{\nu R} = 0$, $g_{\nu R} = 0$. Очевидно, эта точка лежит в начале координат. Соединив линиями положения четырех компонент рассматриваемых частиц, легко убедить-

ся, что в итоге получается ромб со сторонами b и малой диагональю a. Большая диагональ наклонена к вертикальной оси под углом Вайнберга. Ромб составлен из двух равнобедренных треугольников, соответствующих компонентам (e_L, e_R, ν_R) и (e_R, ν_L, ν_R).

Для античастиц, характеризуемых противоположными по знакам значениями зарядов, можно построить аналогичный ромб, отличающийся от изображенного на рис. П.3 сдвигом вдоль линии Вайнберга вправо вниз на величину a.

П.4. Сравнение лептонных и кварковых зарядов

Сравним константы и графики электрослабых взаимодействий лептонов и кварков. Прежде всего, следует положить, что значения зарядов электрона e и константа, характеризующая слабые взаимодействия через W-бозоны в двух последних разделах, должны совпадать, откуда следуют соотношения констант:

$$b = \sqrt{B_1^2 + 2B_4^2}; \quad a = 3B_4; \to B_1^2 = b^2 - \frac{2}{9}a^2 \qquad (\text{П.4.1})$$

и выражения для кварковых констант через два заряда модели Вайнберга—Салама:

$$B_1^2 = \frac{1}{36}(9g_2^2 + g_1^2); \quad B_4 = \frac{g_1}{3}. \qquad (\text{П.4.2})$$

Из соотношения констант электрослабых взаимодействий лептонов и кварков легко убедиться, что ромбы, изображенные на рисунках П.2 и П.3, имеют одинаковые стороны, диагонали и наклонены к координатным осям под одним и тем же углом Вайнберга. Изобразим оба ромба на одном и том же графике рисунка П.4. Из него видно, что лептонный ромб получается из кваркового сдвигом последнего вдоль линии Вайнберга влево вверх на значение $2B_4 = 2a/3$.

Наконец, учтем вторые значения (знаки) зарядов электрослабых взаимодействий, соответствующие в (П.3.2)–(П.3.3) антилептонам, а в (П.2.6)–(П.2.10) — антикваркам. Для всех них имеем 4 одинаковые по величине и углу наклона ромба. Они совмещены на одном графике рисунка П.5. Из получившегося графика видно, что все 16 компонент частиц (учитывая фиктивные правые компоненты нейтрино и антинейтрино) располагаются на трех параллельных прямых: на линии Вайнберга и на двух симметрично расположенных с ней параллельных линиях, отстоящих от линии Вайнберга на расстояние $\sqrt{b^2 - a^2/4} = (1/2)\sqrt{4B_1^2 - B_4^2}$. Последняя величина, умноженная на $\sqrt{2}$, определяет константу слабого взаимодействия через W-бозоны. Заметим, что все правые компоненты

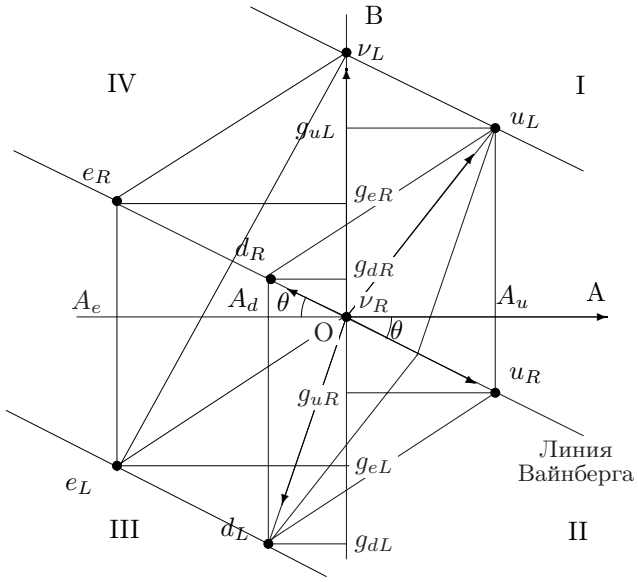

Рис. П.4. Соотношение кваркового и лептонного ромбов

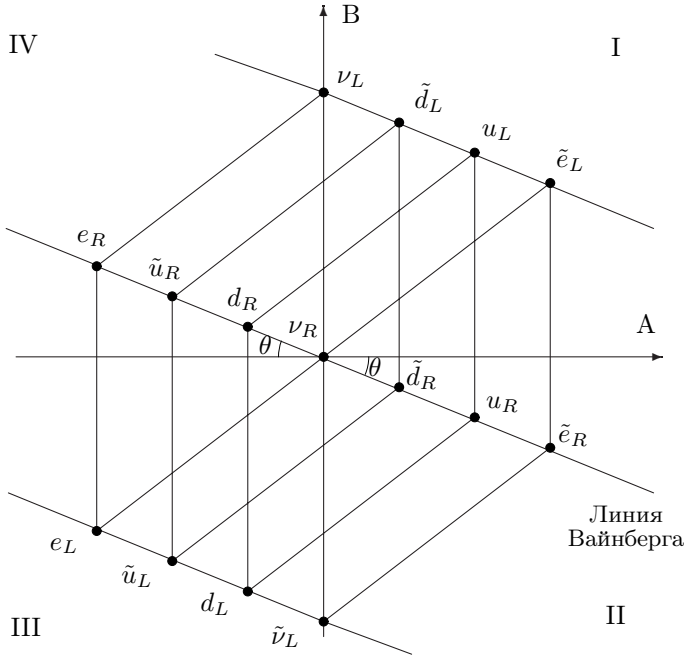

Рис. П.5. Графическая классификация компонент лептонов, антилептонов, кварков и антикварков на плоскости электрического и Z-зарядов

частиц располагаются на линии Вайнберга, тогда как левые компоненты — на соседних линиях.

П.5. Угол Вайнберга и «золотое сечение»

В калибровочной модели электрослабых взаимодействий Вайнберга—Салама—Глэшоу отсутствует теоретическое обоснование значения угла Вайнберга θ и используется экспериментально найденное значение, которое оценивается величиной

$$\sin^2\theta_{eff} = 0,23147(16) \to \theta \simeq 28,4^\circ. \qquad (\text{П.5.1})$$

В рамках бинарной геометрофизики (см. гл. 12) предложен новый подход к описанию электрослабых взаимодействий, в котором более элементарными являются корни квадратные от приведенных выше зарядов слабых Z-взаимодействий кварков:

$$b_{uL} = \pm\sqrt{g_{uL}} = \pm B_0\sqrt{\frac{1}{2} - \frac{2}{3}\sin^2\theta}; \quad b_{uR} = \mp\sqrt{-g_{uR}} = \mp B_0\sqrt{\frac{2}{3}\sin^2\theta};$$
$$b_{dL} = \mp\sqrt{-g_{dL}} = \mp B_0\sqrt{\frac{1}{2} - \frac{1}{3}\sin^2\theta}; \quad b_{dR} = \pm\sqrt{g_{dR}} = \pm B_0\sqrt{\frac{1}{3}\sin^2\theta}. \qquad (\text{П.5.2})$$

Здесь B_0 — константа, определенная выше. Напомним, что в физике микромира типичен переход от классических выражений к корням квадратным (амплитуда вероятности — корень из классической вероятности, спинор — корень из вектора и т. д.)

На основе выражений, записанных в (П.5.2), в бинарной геометрофизике вскрывается следующая симметрия зарядов левых и правых компонент кварков в электрослабых взаимодействиях:

$$Q_u(b_{uL} + b_{uR}) = Q_d(b_{dL} + b_{dR}), \qquad (\text{П.5.3})$$

где Q_u и Q_d — электрические заряды соответственно верхних и нижних кварков. Этот постулат позволяет теоретически вычислить значение угла Вайнберга.

Подставляя в (П.5.3) формулы (П.5.2) и учитывая, что $Q_u/Q_d = -2$, получаем уравнение для угла Вайнберга:

$$2\left(\sqrt{\frac{1}{2} - \frac{2}{3}\sin^2\theta} - \sqrt{\frac{2}{3}\sin^2\theta}\right) = \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{1}{3}\sin^2\theta} - \sqrt{\frac{1}{3}\sin^2\theta}. \qquad (\text{П.5.4})$$

Введя обозначение $z = (1/3)\sin^2\theta$, приходим к упрощенной записи уравнения (П.5.4):

$$2\sqrt{1-4z} - \sqrt{1-2z} = (4-\sqrt{2})\sqrt{z}. \qquad (П.5.5)$$

Численное решение этого уравнения дает значение

$$\sin^2\theta = 0,24048848\ldots, \qquad (П.5.6)$$

близкое к современным оценкам (П.5.1).

Заметим, что симметрия зарядов кварков (П.5.3) приближенно выполняется и для лептонов. Учитывая, что для верхних лептонов (нейтрино) электрический заряд равен нулю, приходим к соотношению для зарядов взаимодействий массивных лептонов с нейтральными Z-бозонами:

$$b_{eL} + b_{eR} = 0 \to \sqrt{\frac{1}{2} - \sin^2\theta} - \sin\theta = 0, \qquad (П.5.7)$$

где использованы выражения, аналогичные (П.5.2):

$$b_{eL} = \mp B_0\sqrt{\frac{1}{2} - \sin^2\theta}; \quad b_{eR} = \pm B_0 \sin\theta. \qquad (П.5.8)$$

Решения этих уравнений приводит к (лептонным) значениям

$$\sin^2\theta = 0,25 \to \theta = 30^\circ. \qquad (П.5.9)$$

Отметим любопытное обстоятельство, поясняющее смысл симметрий зарядов элементарных частиц. Так, подставляя в (П.5.2) значение $\sin\theta = 1/2$ при приближенном значении угла Вайнберга $\theta = 30^o$, имеем

$$b_{uL} \simeq 2\frac{B_0}{\sqrt{12}}; \quad b_{uR} \simeq -\sqrt{2}\frac{B_0}{\sqrt{12}}; \quad b_{dL} \simeq -\sqrt{5}\frac{B_0}{\sqrt{12}}; \quad b_{dR} \simeq \frac{B_0}{\sqrt{12}}. \qquad (П.5.10)$$

Отсюда находим соотношение для нижних кварков

$$\frac{|b_{dL}| + b_{dR}}{2b_{dR}} \simeq \frac{\sqrt{5}+1}{2}, \qquad (П.5.11)$$

соответствующее «золотому сечению».

Используя (П.5.3) и (П.5.10), получаем для характеристик верхних кварков другое значение «золотого сечения»

$$\frac{2(b_{uL} + b_{uR})}{b_{uL}} \simeq \frac{\sqrt{5}-1}{2}. \qquad (П.5.12)$$

Напомним, «золотым сечением» называют особый случай деления отрезка на две неравные части, при котором целое (отрезок) относится

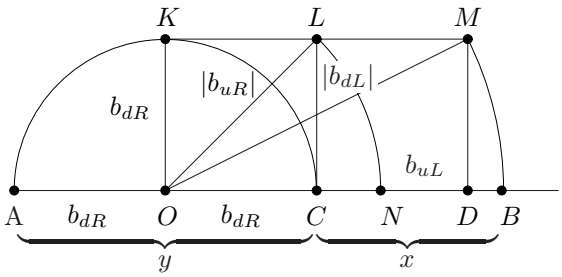

Рис. П.6. Геометрическая иллюстрация связи зарядов в электрослабых взаимодействиях с «золотым сечением»

к большей своей части так же, как большая часть к меньшей. Пусть отрезок $x + y$ разделен на две части x и y и пусть для определенности $x < y$, тогда <золотое сечение> находится из соотношения:

$$\frac{x+y}{y} = \frac{y}{x} \rightarrow \quad \left(\frac{y}{x}\right)^2 - \frac{y}{x} - 1 = 0. \tag{П.5.13}$$

Решая уравнение, находим «золотые числа» («сечения»):

$$\left(\frac{y}{x}\right)_1 = \frac{1-\sqrt{5}}{2} = -0,61803398\ldots; \quad \left(\frac{y}{x}\right)_2 = \frac{1+\sqrt{5}}{2} = 1,61803398\ldots. \tag{П.5.14}$$

Примечательно, что сумма «золотых чисел» совпадает с их произведением и равна минус единице.

Приведенные выше соотношения для верхних и нижних кварков (П.5.11) и (П.5.12) соответствуют двум значениям «золотого сечения».

Известно, что «золотое сечение» обнаруживается в свойствах многих математических и природных объектов, а также в произведениях искусства. Так, «золотое сечение» выступает как предел отношения двух смежных чисел в рядах Фибоначчи и Люка. «Золотое сечение» можно обнаружить в строении человеческого тела, в генетике, в пропорциях египетских пирамид, античных храмов и многих других сооружений. Как выше показано, «золотое сечение» можно усмотреть и в теории электрослабых взаимодействий.

Приближенные значения характеристик кварков (П.5.10) для случая $\theta = 30^o$ имеют простую геометрическую интерпретацию, поясненную с помощью рисунка П.6, где на горизонтальной оси отложены три равные отрезка $b_{dR} = AO = OC = CD$ и на отрезках OC и CD построены два одинаковых квадрата. Согласно (П.5.10), находим, что две диагонали квадрата и прямоугольника из двух квадратов равны модулям двух ха-

рактеристик: $OL = |b_{uR}|$, $OM = |b_{dL}|$, а четвертая характеристика равна основанию прямоугольника $OD = b_{uL}$.

Проведем две дуги радиусов $OL = |b_{uR}|$ и $OM = |b_{dL}|$ с центром в точке O до пересечений с горизонтальной прямой в точках N и B и введем обозначения:

$$x = CB = OB - OC = |b_{dL}| - b_{dR}; \quad y = AC = 2b_{dR}, \tag{П.5.15}$$

тогда имеем соотношение (П.5.11) в следующих видах:

$$\frac{x+y}{y} = \frac{y}{x} = \frac{AC+CB}{AC} = \frac{|b_{dR}|+|b_{dL}|}{2b_{dR}} = \frac{1+\sqrt{5}}{2}. \tag{П.5.16}$$

При переходе к более точному значению угла Вайнберга квадрат OKLC сохраняется, тогда как второй квадрат переходит в прямоугольник, у которого точка M сдвигается в горизонтальном направлении. В этом общем случае записанные выше отношения слегка отличаются от «золотых сечений», а условие симметрии (П.5.3) означает

$$CB = 2ND = x = 2(y - |b_{uR}|). \tag{П.5.17}$$

Таким образом, можно утверждать, что *в теории электрослабых взаимодействий возникают отношения, приближенно совпадающие с «золотым сечением», играющим важную роль в различных областях науки и искусства.*

Литература

1. *Аристотель* Сочинения в 4 томах. М.: Мысль, 1975–1982.
2. *Арифов Л. Я.* Общая теория относительности и тяготение. Ташкент. Изд-во «ФАН», 1983.
3. *Арнольд В. И.* Математика и физика: родитель и дитя или сестры // Успехи физ. наук, т.169, є12, 1999, с. 1311–1323.
4. *Бердяев Н. А.* Философия творчества, культуры и искусства. Т.1. М.: Искусство, ИЧП «Лига», 1994.
5. *Блохинцев Д.И.* Принципиальные вопросы квантовой механики. М.: Наука, 1966.
6. *Блохинцев Д. И.* Пространство и время в микромире. М.: Наука, 1970.
7. *Блохинцев Д. И.* Основы квантовой механики. М.: Наука, 1976.
8. *Блюменталь Л. М.* (Blumental L. M.) Theory and application of distance geometry. Oxford, 1953.
9. *Боголюбов Н. Н., Ширков Д. В.* Введение в теорию квантованных полей. М.: Наука, 1973.
10. *Больцман Л.* Статьи и речи. М.: Наука, 1970.
11. *Борн М.* Физика в жизни моего поколения. М.: Изд-во иностр. лит-ры. 1963.
12. *Бройль Л.де* (De Broglie L.). Революция в физике. М.: Госатомиздат, 1963.
13. *Булгаков С. Н.* Сочинения в 2 томах. Т.1. Трагедия философии. М.: Наука, 1993.
14. *Булюбаш Б. В.* Электродинамика дальнодействия // Физика XIX–XX вв. в общенаучном и социокультурном контекстах. (Физика XIX века). М.: Наука, 1995, с. 221–250.
15. *Бурбаки Н.* Очерки по истории математики. М.: Изд-во иностр. лит-ры. 1962.
16. *Вайнберг* Идейные основы единой теории слабых и электромагнитных взаимодействий. [Нобелевская лекция по физике 1979 года] //УФН, 1980. Т.132, с. 201.
17. *Вайнберг С.* (Weinberg S.) Dreams of a Final Theory. New-York. Pantheon Books, 1992.
18. *Вессон П. С.* (Wesson P. S) Space-Time- Matter (Modern Kaluza-Klein Theory). Singapore, New Jersey, London, Hong Kong. World Scientific. 1999.

19. *Вернадский В. И.* Научное мировоззрение //Сб. «На переломе» (Философские дискуссии 20-х годов). М.: Политиздат, 1990.
20. *Владимиров Ю. С.* Квантовая теория гравитации // «Эйнштейновский сборник 1972». М.: Наука, 1974, с. 280–340.
21. *Владимиров Ю. С.* Системы отсчета в теории гравитации. М.: Энергоиздат, 1982.
22. *Владимиров Ю. С., Мицкевич Н. В., Хорски Я.* Пространство, время, гравитация. М.: Наука, 1984.
23. *Владимиров Ю. С., Турыгин А. Ю.* Теория прямого межчастичного взаимодействия. М.: Энергоатомиздат, 1986.
24. *Владимиров Ю. С.* Размерность физического пространства-времени и объединение взаимодействий. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987.
25. *Владимиров Ю. С.* Пространство-время: явные и скрытые размерности. М.: Наука, 1989.
26. *Владимиров Ю. С.* Фундаментальная физика, философия и религия. Кострома. Изд-во МИИЦАОСТ, 1996.
27. *Владимиров Ю. С.* Реляционная теория пространства-времени и взаимодействий. Часть 1. (Теория систем отношений). М.: Изд-во Моск. ун-та., 1996.
28. *Владимиров Ю. С.* Реляционная теория пространства-времени и взаимодействий. Часть 2. (Теория физических взаимодействий). М.: Изд-во Моск. ун-та., 1998.
29. *Вяльцев А. Н.* Дискретное пространство-время. М.: Наука, 1965.
30. *Гайденко П. П.* История греческой философии в ее связи с наукой. М.: Изд-во «Университетская книга», 2000.
31. *Гайденко П. П.* История новоевропейской философии в ее связи с наукой. М.: Изд-во «Университетская книга», 2000.
32. *Гегель Г.* Философия религии. Т.1, М.: Мысль, 1976.
33. *Гейзенберг В.* Физика и философия. Часть и целое. М.: Наука, 1989.
34. *Гейзенберг В.* Развитие понятий в физике XX столетия //Вопросы философии, No. 1, 1975, с. 79–88.
35. *Готтфрид К., Вайскопф В.* Концепции физики элементарных частиц. М.: Мир, 1988.
36. *Гриб А. А.* Диспут о филиокве и раскол Запад-Восток //Сб. «Христианство и наука» (Рождественские чтения — 2001). М.: Изд-во Московской патриархии, 2001, с. 111–152.
37. *Гриб А. А.* Проблема неинвариантности вакуума в квантовой теории поля. М.: Атомиздат, 1978.
38. *Грин Х.* Матричная квантовая механика. М.: Мир, 1968.
39. *Дайсон Ф. S*-матрица в квантовой электродинамике //Сб. «Новейшее развитие квантовой электродинамики». М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1954.
40. *Данциг ван Д.* (Van Dantzig D.) On the relation between geometry and physics and the concept of space-time //Funfzig Jahre Relativitatstheorie. Konferenz Bern, Basel. 1955. Bd.1, S. 569.

41. *Дирак П. А. М.* Принципы квантовой механики. М.: Физматгиз, 1960.
42. *Дирак П. А. М.* Эволюция физических представлений о природе //«Техника молодежи», N.2, 1964, с. 24.
43. *Дирак П. А. М.* //«Природа», N.3, 1972, с. 69.
44. *Дирак П. А. М.* Теория гравитации в гамильтоновой форме //Сб. «Новейшие проблемы гравитации». М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1961, с. 139–158.
45. *Дэвис П.* (Davies P. C. W) The Physics of time assymmetry. Berkely — Los Angeles: Univ. of California Press, 1974, 214 p.
46. *Еремеев В. Е.* Символы и числа «Книги перемен». М.: АСМ, 2002.
47. *Захаров В. Д.* Гравитационные волны в теории тяготения Эйнштейна. М.: Наука, 1972.
48. *Захаров В. Д.* Метафизика в науках о природе //Вопросы философии, No.3, 1999, с. 97–111.
49. *Захаров В. Д.* Естественнонаучная апологетика //Сб. «Христианство и наука» (Рождественские чтения — 2001). М.: Изд-во Московской патриархии, 2001, с. 197–225.
50. *Зелиг К.* Альберт Эйнштейн. М.: Мир, 1964.
51. *Зеньковский В.* Основы христианской философии. М.: 1992.
52. *Иваненко Д. Д., Соколов А. А.* Классическая теория поля. М.-Л.: Гос. изд-во тех.-теор. лит. 1951.
53. *Иваненко Д. Д.* Вступительная статья //Сб. «Нелинейная квантовая теория поля». М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1959.
54. *Иваненко Д. Д.* Гравитация и возможности единой трактовки материи //Сб. «Философские проблемы теории тяготения Эйнштейна и релятивистской космологии». Киев. Изд-во «Наукова думка», 1964, с. 27–28.
55. *Каллош Р. Э.* Предисловие к сб. «Введение в супергравитацию». М.: Мир, 1985.
56. *Калуца Т.* К проблеме единства физики //Сб. «Альберт Эйнштейн и теория гравитации». М.: Мир, 1979, с. 529–534.
57. *Кант И.* Пролегомены ко всякой будущей метафизике, могущей возникнуть в качестве науки. М.: Соцэкгиз, 1937.
58. *Катасонов В. Н.* Метафизическая математика XVII века. М.: Наука, 1993.
59. *Катасонов В. Н.* Интеллектуализм и волюнтаризм: религиозно-философский горизонт науки нового времени //Сб. «Философско-религиозные истоки науки». М.: Изд-во «Мартис», 1997, с. 142–177.
60. *Клини С. К.* Введение в метаматематику. М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1957.
61. *Клиффорд В.* О пространственной теории материи //Сб. «Альберт Эйнштейн и теория гравитации». М.: Мир, 1979, с. 36–37.
62. *Клиффорд В.* Здравый смысл точных наук. 1922. (См. Сб. «Альберт Эйнштейн и теория гравитации». М.: Мир, 1979, с. 38–47.)
63. *Кузанский Н.* Сочинения в 2 томах. Т.1. М.: 1979.

64. *Кузнецов Б. Г.* Развитие физических идей от Галилея до Эйнштейна в свете современной науки. М.: Изд-во АН СССР, 1963.
65. *Кулаков Ю. И.* Элементы теории физических структур (Дополнение Г.Г. Михайличенко). Новосибирск. Изд-во Новосиб. гос. ун-та, 1968.
66. *Кулаков Ю. И., Владимиров Ю. С., Карнаухов А. В.* Введение в теорию физических структур и бинарную геометрофизику. М.: Изд-во Архимед, 1991.
67. *Кулаков Ю. И.* Теория размерности физических величин. Ч.1. //Вычислительные системы, є 110. Новосибирск. Изд-во Института математ. СО АН СССР, 1985, с. 52–88.
68. *Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.* Теория поля. М.: Наука, 1973.
69. *Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.* Квантовая механика. М.: Наука, 1963.
70. *Лауэ М.* История физики. М.: Гостехиздат, 1956.
71. *Лейбниц Г. В.* Сочинения в четырех томах. Том 1. М.: Мысль, 1982.
72. *Ленин В. И.* Материализм и эмпириокритицизм // Собр. соч. 4 изд. Т.14.
73. *Ливанова А.* Три судьбы. Постижение мира. М.: Знание, 1969.
74. *Логунов А. А.* Лекции по теории относительности и гравитации. М.: Наука, 1987.
75. *Ломоносов М. В.* Полное собрание сочинений. Т.1, 2. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1950–1951.
76. *Лосский В. Н.* Очерк мистического богословия Восточной Церкви. Догматическое богословие. М.: Центр «СЭИ», 1991.
77. *Льоцци М.* История физики. М.: Мир, 1970.
78. *Марков М. А.* Избранные труды. Т.1. М.: Наука, 2000.
79. *Мах Э.* Познание и заблуждение. М.: Изд-во С. Скирмунта, 1909.
80. *Мах Э.* Механика. Историко-критический очерк ее развития. Ижевск. Ижевск. республ. типогр., 2000.
81. *Менский М. Б.* Квантовые измерения и декогенерация. М.: Физматлит, 2001.
82. *Мизнер Ч., Торн К., Уилер Дж.* Гравитация. Т.3. М.: Мир, 1977.
83. *Минковский Г.* Пространство и время //Сб. «Принцип относительности». М.: Атомиздат, 1973.
84. *Нарликар Дж. В.* Инерция и космология в теории относительности Эйнштейна //Сб. «Астрофизика, кванты и теория относительности». М.: Мир, 1982, с. 498–534.
85. *Ньютон И.* Математические начала натуральной философии. //В собр. соч. акад. А. Н. Крылова. М.–Л. Изд-во АН СССР, 1936.
86. *Окунь Л. Б.* Лептоны и кварки. М.: Наука, 1990.
87. *Окунь Л. Б.* Физика элементарных частиц. М.: Наука, 1988.
88. *Паули В.* Физические очерки. М.: Наука, 1975.
89. *Пенроуз Р.* Структура пространства-времени. М.: Мир, 1972.
90. *Пенроуз Р., Риндлер В.* Спиноры и пространство-время. М.: Мир, 1987.

91. *Петров А. З.* Современное состояние развития теории гравитационного поля //Сб. «Философские проблемы теории тяготения Эйнштейна и релятивистской космологии». Киев. Изд-во «Наукова думка», 1964, с. 2–26.
92. *Пименов Р. И.* Пространства кинематического типа (Математическая теория пространства-времени). Л.: Наука, 1968.
93. *Планк М.* Единство физической картины мира. М.: Наука, 1965.
94. *Пуанкаре А.* О динамике электрона //Сб. «Принцип относительности». М.: Атомиздат, 1973.
95. *Пуанкаре А.* О науке. М.: Наука, 1983.
96. *Раушенбах Б. В.* Пристрастие. М.: Изд-во «Аграф», 2000.
97. *Раушенбах Б. В.* Пусть спорят знатоки //Сб. «Христианство и наука» (Рождественские чтения — 2001). М.: Изд-во Московской патриархии, 2001, с. 153–170.
98. *Рашевский П. К.* Риманова геометрия и тензорный анализ. М.: Наука, 1967.
99. *Рашевский П. К.* О догмате натурального ряда //Успехи матем. наук. 1973. Т.XXVIII, вып.4 (172), с. 243–246.
100. *Рвачев В. Л.* Релятивистский взгляд на развитие конструктивных средств математики. Харьков. Препринт инст. проблем машиностроения АН УССР, 1990.
101. *Риман Б.* О гипотезах, лежащих в основании геометрии //Сб. «Альберт Эйнштейн и теория гравитации». М.: Мир, 1979, с. 18–33.
102. *Риман Б.* Фрагменты философского содержания. Натурфилософия //Сочинения. М.–Л.: Гостехиздат, 1948.
103. *Румер Ю. Б.* Спинорный анализ. М.–Л.: ОНТИ НКТП СССР, 1936.
104. *Румер Ю. Б.* Исследования по 5-оптике. М.: ГИТТЛ, 1956.
105. *Румер Ю. Б.* Принципы сохранения и свойства пространства и времени //Сб. Пространство, время, движение. М.: Наука, 1971, с. 107–125.
106. *Рязанов Г. В.* Путь к новым смыслам. М.: Гнозис, 1993.
107. *Салам А., Стрэди Дж.* (Salam A., Strathdee J.) On Kaluza-Klein theory //Ann. of Phys., 1982, v.141, p. 316–352.
108. *Сахаров А. Д.* Научные труды. М.: АОЗТ «Изд-во ЦентрКом», 1995.
109. *Синг Дж. Л.* Общая теория относительности. М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1963.
110. *Скоробогатько В. Я., Фешин Г. Н., Пелых В. А.* N-Точечная геометрия типа Евклида //Сб. Математические методы и физико-механические поля. Киев. Наукова думка, 1975. Вып.1, с. 5–10.
111. *Соловьев В. С.* Сочинения в 2 томах. Т.2. М.: Изд-во «Правда», 1989.
112. *Степин В. С.* Философия и универсалии культуры. Санкт-Петербург.: Изд-во С.-Петерб. гуманит. ун-та профсоюзов, 2000.
113. Твисторы и калибровочные поля. М.: Мир, 1983.
114. *Уилер Дж. А., Фейнман Р.* (Wheeler J.A., Feynman R.P.) Interaction with the absorber as the mechanism of radiation //Rev.Mod.Phys., 1945, vol.17, p. 157–181.

115. *Уилер Дж.* Гравитация, нейтрино и Вселенная. М.: Изд-во. иностр. литры, 1962.
116. *Утияма Р.* К чему пришла физика. М.: Знание, 1986.
117. *Уэст П.* Введение в суперсимметрию и супергравитацию. М.: Мир, 1989.
118. *Фейнман Р.* Пространственно-временной подход к нерелятивистской квантовой механике //Сб. Вопросы причинности в квантовой механике. М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1955, с. 167–207.
119. *Фейнман Р.* (Feynman R.) Нобелевская лекция «Разработка квантовой электродинамики в пространственно-временном аспекте» //Сб. «Характер физических законов». М.: Мир. 1968, с. 193–231.
120. *Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.* Фейнмановские лекции по физике. Т.2. (Пространство, время, движение). М.: Мир, 1965.
121. *Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.* Фейнмановские лекции по физике. Т.3. (Излучение, волны, кванты). М.: Мир, 1965.
122. Философия естествознания. М.: Изд-во полит. лит-ры, 1966.
123. *Фок В. А.* Квантовая физика и философские проблемы //Сб. «Физическая наука и философия». М.: Наука, 1973, с. 55–77.
124. *Фок В. А.* Об основных принципах теории тяготения Эйнштейна //Сб. «Современные проблемы гравитации». Тбилиси. Изд-во Тбил. гос. ун-та, 1967, с. 5–11.
125. *Фок В. А.* Начала квантовой механики. М.: Наука, 1976.
126. *Фок В. А.* Квантовая физика и строение материи. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1965.
127. *Франк С. Л.* Философия и религия //Сб. «На переломе» (Философские дискуссии 20-х годов). М.: Изд-во полит. лит-ры, 1990.
128. *Френкель Я. И.* Мистика мирового эфира //Сб. «На заре новой физики». Ленинград. Наука, 1970.
129. *Френкель Я. И.* //Природа электрического тока. (Беседы-диспут в Ленинградском политехническом институте). М.–Л.: Изд-во Всесоюзн. электротехн. общ-ва, 1930.
130. *Френкель Я. И.* Принцип причинности и полевая теория материи //Сб. Вопросы теоретической физики. СПб.: ПИЯФ, 1994, с. 132–154.
131. *Фридман Д.З., Ньювенхойзен П.* Скрытые измерения пространства-времени //В мире науки, N.5, 1985, с. 30.
132. *Хвольсон О. Д.* Физика и ее значение для человечества. Берлин. Гос. изд-во РСФСР, 1923.
133. *Хёнль Г.* К истории принципа Маха //«Эйнштейновский сборник-1968». М.: Наука, 1968, с. 258–285.
134. *Хойл Ф., Нарликар Дж.* (Hoyle F, Narlikar J.V.). Action at a distance in physics and cosmology. San Francisco: W.N.Freeman and Comp., 1974.
135. *Хуанг К.* (Huang K.). Кварки, лептоны и калибровочные поля. М.: Мир, 1985.

136. *Циммерман Е. Дж.* (Zimmerman E. J.) The macroscopic nature of space-time //Amer. J. Philos., 1962, vol.30, p. 97–105.
137. *Чью Дж.* Аналитическая теория S-матрицы. М.: Мир, 1968.
138. *Чью Дж.* (Chew G. F.) The dubious role of the space-time continuum in microscopic physics //Science Progress. 1963/ Vol.LI, No.204, p. 529–539.
139. *Широков М. Ф.* Тяготение и инерция, как формы существования материи //Сб. «Философские проблемы теории тяготения Эйнштейна и релятивистской космологии». Киев. Изд-во «Наукова думка», 1964, с. 29–35.
140. *Шредингер Э.* Природа и греки. Москва-Ижевск. Изд-во НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001.
141. *Эддингтон А.* (Eddington A. S.) Fundamental theory. N.Y.: Cambridge Press, 1946.
142. *Эйнштейн А., Гроссман М.* Проект обобщенной теории относительности и теории тяготения //Собр. науч. трудов. Т.1. М.: Наука, 1965, с. 227–266.
143. *Эйнштейн А.* Принципиальное содержание общей теории относительности //Собр. науч. трудов. Т.1. М.: Наука, 1965, с. 613–615.
144. *Эйнштейн А., Майер В.* Единая теория гравитации и электричества //Собр. науч. трудов. Т.2. М.: Наука, 1966, с. 366–386.
145. *Эйнштейн А., Бергман П.* Обобщение теории электричества Калуцы //Собр. науч. трудов. Т.2. М.: Наука, 1966, с. 492–513.
146. *Эйнштейн А.* Относительность и проблема пространства //Собр. науч. трудов. Т.2. М.: Наука, 1966, с. 744–759.
147. *Эйнштейн А.* Физика и реальность. М.: Наука, 1965.
148. *Эйнштейн А.* Замечание о квантовой теории //Собр. науч. трудов. Т.3. М.: Наука, 1966, с. 528–530; с. 623–626.
149. *Эйнштейн А.* Эрнст Мах //Собр. науч. трудов. Т.4. М.: Наука, 1967, с. 27–32.
150. *Эйнштейн А.* Религия и наука //Собр. науч. трудов. Т.4. М.: Наука, 1967, с. 126–129.
151. *Эйнштейн А.* Автобиографические заметки //Собр. науч. трудов. Т.4. М.: Наука, 1967, с. 259–294.
152. Энциклопедический словарь. М.: Гос.научн. изд-во «Большая советская энциклопедия», 1955.
153. *Юкава Х.* Лекции по физике. М.: Энергоиздат, 1981.
154. *Юнг К. Г.* Ответ Иову. М.: Изд-во «Канон», 1995.

Именной указатель

Августин А. (354–430) — 14.2
Авогадро А. (1776–1856) — 4.1
Адлер С. Л. — 9.10, 9.12
Александров А. Д. (р. 1912) — 2.7.
Анаксагор (500–428 г. до н.э.) — 1.3, 9.3
Анаксимандр (ок. 610–546 до н.э.) — 1.3.
Анаксимен (6 в. до н.э.) — 1.3.
Аристотель (384–322 г. до н.э.) — Пред., 1.2, 1.4, 1.5, 2.7, 2.8, 5.3, 5.7, 6.7, 9.3, 11.7, 12.0, 12.2, 14.1, 14.4, 14.8
Арнольд В. И. — 14.7

Баргман В. — 8.5
Бердяев Н. А. (1874–1948) — 14.1
Беккерель А. А. (1852–1908) — 3.6
Бельтрами Э. (1835–1900) — 6.2.
Бергман П. — 7.6, 8.4, 8.5, 9.11, 13.8
Бессель Ф. В. (1784–1846) — 6.2.
Блохинцев Д. И. (1908–1979) — 5.2, 5.6, 13.8
Блюменталь К. М. — 11.1
Боголюбов Н. Н. (1909–1992) — 3.1
Богослов Г. — 14.8
Больцман Л. (1844–1906) — 4.1
Бом Д. Д. (р. 1917) — 5.2
Бор Н. (1885–1962) — 2.2, 4.1, 5.1, 5.2, 5.8, 13.8, 14.10
Борн М. (1882–1970) — Пред., 3.3, 5.2
Бошкович Р. И. (1711–1787) — Введ., 1.10.
Бояи Фаркаш (1775–1856) — 6.1,
Бояи Янош (1802–1860) — 6.1, 6.2,
Брагинский В. Б. (р. 1931) — 6.7, 7.6
Бранс — 7.7, 8.5
Бройль Л. де (1892–1987) — 4.3, 4,6, 5.1, 5.2, 5.3, 8.5, 13.1
Бронштейн М. П. (?–1936) — 9.7
Бруно Дж. (1548–1600) — 1.5, 14.4
Брюсов В. Я. (1873–1924) — 9.3
Бурбаки Н. — 14.7
Булгаков С. Н. (1871–1944) — 14.1, 14.8

Вайнберг С. (р. 1915) — 1.2, 3.6, 9.12, 14.1, 14.10
Вайскопф В. (р. 1908) — 4.5.
Валлис (1616–1703) — 6.1.
Вахтер — 6.2.
Вебер В. (1804–1891) — 6.3, 10.1
Вебер Дж. (1919–2000) — 7.6
Веблен О. (1880–1960) — 8.5
Вейль Г. (1885–1955) — 7.7, 8.5, 8.6, 9.8, 14.10
Вернадский В. И. (1863–1945) — 14.10.
Вессон — 9.4
Вигнер Ю. П. (р. 1902) — 14.1
Винчи Леонардо да (1452–1519) — 1.5
Виттен Е. — 9.5

Гайденко П. П. — 1.0, 1.6, 1.8, 1.9, 2.7, 14.2, 14.6
Галилей Г. (1564–1642) — 1.2, 1.5, 6.7, 7.2, 14.6
Гамов Г. А. (1904–1968) — Введ., 8.5, 10.5
Гаусс К. (1777–1855) — 6.2, 6.3, 7.2, 8.1, 10.1
Гегель Г. (1770–1831) — 14.5, 14.8
Гейзенберг В. (1901–1976) — 1.2, 1.3, 1.4, 2.6, 3.6, 3.10, 4.1, 4.2, 4.6, 4.10, 5.1, 5.3, 5.7, 5.8, 9.12, 14.1, 14.4, 14.8, 14.10, Закл.
Гелл-Манн М. (р. 1929) — 3.6
Гераклит (540–480 г. до н.э.) — 1.3,
Гете И. В. (1749–1832) — 1.12.
Герц Г. (1857–1894) — 3.2, 14.9
Гильберт Д. (1862–1943) — 2.7, 5.4, 7.1,
Глэшоу — 3.6
Гордон В. (1893–1939) — 4.3, 5.1
Гофман Б. — 8.5
Грановский Я. И. — 10.6
Грассман Г. (1809–1877) — 8.1, 8.3
Гроссман М. — 7.1
Гриб А. А. — 5.9, 14.8, 14.9
Грин Х. — 5.5.
Гроссман М. (1878–1936) — 7.1, 7.2
Гюйгенс (1629–1696) — 1.6, 1.8, 2.1, 8.3, 10.8

Дайсон Ф. (р. 1923) — 5.7,
Даламбер Ж. Б. (1717–1783) — 1.10, 8.1,
Данциг Д. ван — 8.5, 13.1
Дафф М. — 9.5
ДеВитт Б. — 5.2, 9.8
Дезер С. — 9.5
Декарт Р. (1596–1650) — Введ., 1.6, 1.11, 9.0, 9.6, 14.1, 14.6
Демокрит (460–380 г. до н.э.) — 1.3, 3.10, 4.1, 4.8, 9.3
Дикке Р. (1916–?) — 6.7, 7.7, 8.5
Дирак П. А. М. (1902–1984) — 2.2, 4.3, 4.4, 5.1, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.9, 9.9, 10.5
Дэвис — 10.7

Евдокс (прибл. 408–355 до н.э.) — 1.2.
Евклид (III век до н.э.) — 1.4, 2.7, 2.8. 6.1,
Еремеев В. Е. — 1.1.

Жданов В. И. — 10.6

Захаров В. Д. (р. 1938) — 1.9, 7.6, 11.4, 14.4
Зелиг К. — 2.2
Зельманов А. Л. (1913–1987) — 5.9, 7.3,
Зенон (V в. до н.э.) — 1.2
Зеньковский В. — 14.5
Зоммерфельд А. И. В. (1868–1951) — 5.1

Иваненко Д. Д. (1904–1994) — 3.6, 3.7, 4.1, 4.6, 5.1, 7.0, 8.5, 9.8, 9.9, 14.6
Иваницкая О. С. (1914–1986) — 7.3
Ингрэхем Р. Л. — 8.5
Инфельд Л. (1898–1968) — 3.3

Йордан П. (1902–1980) — 7.7, 8.5

Кадышевский В. Г. — 8.5
Калицин Н. — 8.5
Каллош Р. Э. — 9.5
Калуца Т. (1885–1954) — 8.1, 8.2, 8.6, 8.10, 13.4
Кант И. (1724–1804) — 1.11, 1.12, 8.1, 8.3, 14.4
Картан Э. (1869–1951) — 4.5, 7.7,
Катасонов В. Н. — 14.2, 14.5
Кениг С. (1712–1757) — 1.10.

Кеплер И. (1571–1630) — 1.5
Кларк С. — 1.7, 11.1, 14.5
Клаузиус Р. (1822–1888) — 4.1
Клейн О. (1894–1977) — 4.3, 5.1, 8.5, 8.6, 9.11
Клейн Ф. (1849–1925) — 6.2, 8.1. 8.5, 11.1, 13.4
Клини С. К. — Пред., 14.7
Клиффорд В. (1845–1879) — 6.0, 6.4, 6.5, 7.6, 9.0,
Комптон А. Х. (1892–1962) — 5.1
Коперник Н. (1473–1543) — 1.5,
Креммер Т. — 9.5
Кристоффель Э. Б. (1829–1900) — 7.2
Кузанский Н. (1401–1464) — 1.5, 2.7, 14.2, 14.4
Кулаков Ю. И. (р. 1927) — Введ., 1.2, 10.0, 10.9, 11.0, 11.1, 11.2, 11.4, 11.5, 11.6, 11.7, 13.1, 14.8
Кулон Ш. О. (1736–1806) — 3.5.
Кэли А. (1821–1885) — 8.1

Лагранж Ж. Л. (1736–1813) — 1.10, 8.1, 8.3
Ламберт (1728–1777) — 6.1.
Ландау Л. Д. (1908–1968) — 3.1, 5.3, 5.7,
Лао-Цзы (VI–V в. до н.э.) — 1.1
Лауэ М. (1879–1960) — 5.2
Лебедев П. Н. (1866–1912) — 2.2
Лев В. Х. — 11.2, 11.5
Левкипп (5 в. до н.э.) — 1.3.
Лейбниц Г. В. (1646–1716) — Пред., 1.1, 1.6, 1.7, 1.9, 1.12, 11.1, 14.1, 14.5, 14.8
Лежандр (1752–1833) — 6.1
Ленин В. И. (1870–1924) — 6.5, 14.2
Лифшиц Е. М. (1915–1985) — 3.1, 5.3
Лихнерович А. — 8.5
Лобачевский Н. И. (1792–1856) — 6.2, 6.5, 6.6, 10.1
Логунов А. А. (р. 1926) — 3.5, 7.2
Ломоносов М. В. (1711–1765) — 1.10, 4.1
Лоренц Л. В. (1829–1891) — 10.1
Лоренц Х. А. (1853–1928) — 2.1, 2.2
Лосский В. Н. (1903–1958) — 14.3, 14.8, 14.9
Лотце Г. — 10.1
Людвиг Г. — 8.5

Максвелл Дж. (1831–1879) — 2.2, 3.2, 4.1, 10.1
Мандель Г. А. — 8.5, 8.6
Манин Ю. И. (р. 1937) — 8.7
Марков М. А. (1908–1994) — 4.2, 9.3, 14.1
Маршак Р. (р. 1916) — 3.6
Мах Э. (1838–1916) — Пред., Введ., 1.9, 2.3, 2.6, 4.1, 6.0, 6.5, 7.5, 8.1, 8.2, 8.6, 10.2, 10.5, 10.6, 11.1, 11.4. 12.2, 14.1, 14.6
Мельников В. Н. — 3.3, 10.5
Менский М. Б. — 13.1
Менделеев Д. И. (1834–1907) — 4.1
Ми Г. (1868–1957) — 3.3
Мизнер Ч. — 9.2, 9.8, 12.4, 14.1
Миллс — 3.7, 8.7
Минковский Г. (1864–1909) — 2.2, 3.2
Михайличенко Г. Г. (р. 1942) — 11.2, 11.5
Мицкевич Н. В. (р. 1931) — 3.7, 7.3,
Мозли Г. (1887–1915) — 4.1
Мопертюи П. Л. М. (1698–1759) — 1.10, 3.1

Нарликар Дж. В. — 2.6, 10.5
Насирэддин (1201–1274) — 6.1.
Нейман К. Г. (1832–1925) — 10.1
Нейман Ф. Э. (1798–1895) — 10.1
Нордстрем Г. (1881–1923) — 8.1
Ньювенхейзен П. ван — 9.5

Ньютон И. (1643–1727) — Пред., 1.3, 1.6, 1.7, 1.9, 1.12, 6.5, 10.1, 11.4. 14.1, 14.5

Огиевецкий В. И. — 9.5

Павшич М. — 8.5
Пантюшин А. А. — 10.6
Парменид (кон. VI–V в. до н.э.) — 1.3
Паули В. (1900–1958) — Введ., 5.2, 5.6, 8.5, 14.4, 14.10
Пенроуз Р. (р. 1931) — 7.8, 13.1, 13.8
Петров А. З. (1910–1972) — 7.0, 7.6, 7.8, 14.6
Пименов (1931-1990) — 2.7.
Пирагас К. А. (р. 1938) — 10.6
Пифагор (IV в.до н.э.) — 1.2, 5.10, 14.1
Планк М. (1858–1947) — 5.1, 5.2, 5.3, 9.7, 10.9. 13.6, 14.10
Платон (427–347 г. до н.э.) — 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 4.10, 5.3, 5.8, 9.3, 11.7. 14.1, 14.3, 14.6
Подоланский И. — 8.5
Посидоний (I в. до н.э.) — 6.1.
Прокл (410–485) — 6.1.
Птолемей (II в. н.э.) — 1.5, 6.1,
Пуанкаре А. (1854–1912) — 2.2, 2.6, 2.7, 6.0, 6.6, 7.1, 7.2, 10.2, 11.4, 13.6
Пытьев Ю. П. (р. 1935) — 8.5

Райнич Г. — 9.2
Рассел Б. (1872–?) — Пред.
Раушенбах Б. В. (?–2001) — 1.5, 14.10
Рашевский П. К. (1907–1985) — 2.9, 13.1, 14.1
Рвачев В. Л. (р. 1926) — 2.9.
Редже Т. (р. 1931) — 9.7
Резерфорд Э. (1871–1937) — 2.2, 3.6, 4.1, 5.1,
Риман Б. (1826–1866) — 1.7, 2.3, 6.3, 6.5, 6.6, 7.2, 7.7, 8.1, 8.3, 10.1, 12.1
Розен Н. — 7.7
Родичев В. И. (1914–1984) — 7.3, 8.5
Робб А. — 2.7.
Румер Ю. Б. (1901–1985) — 8.1, 8.5, 8.6, 9.11, 13.4, 13.8

Саккери (1667–1733) — 6.1.
Салам А. (р. 1926) — 3.6, 4.6, 9.5
Сахаров А. Д. (1921-1989) — 7.7, 9.10, 9.12, 14.1
Свифт Дж. (1667–1745) — 9.4
Синг Дж. (р. 1897) — 2.5, 7.2.
Скоробогатько В. Я. (?-1996) — 10.6
Соловьев В. С. (1853–1900) — 14.2, 14.8
Степин В. С. — 14.1
Станюкович К. П. (1916–1989) — 3.3, 10.5
Судершан Э. (р. 1931) — 3.6, 8.7
Сурьо И. — 8.5
Схоутен Я. А. (1883–1971) — 7.7,

Тамм И. Е. (1895–1971) — 11.1
Тауринус Ф. (1794–1874) — 6.2.
Теразава Х. — 9.10, 9.12
Терлецкий Я. П. (1912–1993) — 3.3, 5.3
Тетроде Г. — 10.2
Тилли М. де (1837–1906) — 6.2, 11.1
Тирри И. — 7.7, 8.5
Тоннеля М. А. (1912–1980) — 8.5
Торн К. — 12.4, 14.1
Тредер Х. Ю. (р. 1928) — 9.7
Турыгин А. Ю. — 10.6, 13.4

Уилер Дж. А. (р. 1911) — 4.2, 5.7, 5.9, 6.4. 9.2, 9.8, 9.10, 9.11. 9.12, 10.4, 10.5, 12.0, 12.4, 13.3, 14.1
Умов Н. А. (1846–1915) — 2.2.

Утияма Р. — 8.5
Уэст П. — 9.10

Фалес (VI в. до н.э.) — 1.3.
Фарадей М. (1791–1867) — Введ., 2.1, 2.2, 3.2, 10.1
Фейнман Р. (1918–1988) — 3.2, 3.6, 4.2, 5.2, 9.9. 10.4, 10.7, 10.8, 10.9, 12.2
Ферма П. (1608–1665) — 3.1.
Феррара С. — 9.5
Фехнер Г. Т. — 10.1
Финслер П. (1894–1970) — 7.7
Фицджеральд Д. (1851–1901) — 2.2
Флоренский П. А. (1882–1937) — 14.8
Фок В. А. (1898–1974) — Введ., 4.3, 5.1, 5.3, 5.6, 7.2, 7.3, 7.4, 8.5, 8.6, 9.8, 9.11, 10.8, 14.1
Фоккер А. Д. (1887–1972) — 10.2, 10.3
Фохт В. — 2.2
Франк С. Л. (1877–1950) — 14.1, 14.5, 14.8
Фредерикс В. К. — 8.5,
Френель О. Ж. (1788–1827) — 2.1.
Френкель Я. И. (1894–1952) — 2.1, 2.6. 3.0. 10.2, 14.1
Фридман А. А. (1888–1925) — 6.4, 7.5
Фридман Д. — 9.5
Фуси (2852–2737 г. до н.э.) — 1.1

Хаббл Э. (1889–1953) — 7.5
Хвольсон О. Д. (1852–1934) — 2.2, 10.1
Хиггс — 3.8, 9.4
Хойл Ф. (р. 1915) — 2.6, 10.5, 10.7

Цвейг Г. — 3.6.
Целльнер К. Ф. — 8.1, 10.1,
Циммерман Е. — 13.1

Черников Н. А. — 7.7
Чжоу Дуньи (1017–1073) — 1.1
Чью Дж. Ф. (р. 1924) — 5.7, 12.1
Чэдвик Ч. Дж. (1891–1974) — 4.1

Шварцшильд К. (1873–1916) — 7.4, 10.2
Швейкарт Ф. К. (1780–1959) — 6.2.
Шеллинг Ф. В. (1775–1854) — 14.5
Шерк Дж. — 9.5
Ширков Д. В. — 3.1
Широков М. Ф. (1901–1982) — 7.0, 7.6,
Шмутцер Э. — 8.5
Шредингер Э. (1887–1961) — 1.0, 4.3, 5.1, 9.8, 14.1
Шталь Г. Э. (1670–1734) — 1.10.

Эверетт Г. — 5.2
Эддингтон А. (1882–1944) — 7.7, 8.3, 10.5
Эйлер Л. (1707–1783) — 1.10, 4.1
Эйнштейн А. (1879–1955) — 1.6, 2.2, 5.1, 5.2, 5.3, 6.3, 6.4, 6.5, 6.7, 7.1, 7.5, 7.6, 7.7, 8.2, 8.4, 8.5, 8.6, 9.0, 9.6, 9.11, 10.6, 10.9, 13.8, 14.10
Эмпедокл (490–430 г. до н.э.) — 1.3, 1.8, 9.3
Эренфест П. (1880–1933) — 8.3
Этвеш Р. (1848–1919) — 6.7

Юкава Х. (1907–1981) — 3.6, 8.7, 14.1
Юм Д. (1711–1776) — Пред.
Юнг К. Г. — 14.8
Юст К. — 8.5

Янг Ч. (р. 1922) — 3.7, 8.7