

Л. А. Минасян

ЕДИНАЯ ТЕОРИЯ ПОЛЯ

**Философский анализ
современных проблем
физики элементарных
частиц и космологии**

**Опыт синергетического
осмысления**



URSS

Синергетика

Суперсимметрия

Суперструны

Великое объединение

Супергравитация

Физический вакуум

Космология

Антропология

Настоящее исследование выполнено при финансовой поддержке
Российского государственного научного фонда (проект № 03-03-00155а)

Минасян Лариса Артаваздовна

Единая теория поля: Философский анализ современных проблем физики элементарных частиц и космологии. Опыт синергетического осмысления.

М.: КомКнига, 2005. — 176 с.

ISBN 5-484-00179-X

В книге обсуждаются современные физические идеи построения единой теории поля и космологии, дается их философский анализ через призму методологических принципов диалектики и синергетики.

Книга может оказать существенную помощь при подготовке и сдаче кандидатского экзамена по философии и истории физики.

В целом, работа предназначена для широкого круга читателей, интересующихся вопросами эволюции Вселенной и ее структурными особенностями.

Текст опубликован в авторской редакции.

Издательство «КомКнига». 117312, г. Москва, пр-т 60-летия Октября, 9.
Подписано к печати 08.07.2005 г. Формат 60×90/16. Печ. л. 11. Зак. № 148.
Отпечатано в ООО «ЛЕНАНД». 117312, г. Москва, пр-т 60-летия Октября, д.11А, стр.11.

ISBN 5-484-00179-X

© Л. А. Минасян, 2005
© КомКнига, 2005



Оглавление

Введение	4
Глава 1. Методология исследования.....	7
§ 1.1. Концепция физических исследовательских программ. Типы физических исследовательских программ.....	7
§ 1.2. Диалектическая логика.....	21
§ 1.3. Синергетика.....	24
Глава 2. На пути построения единой теории поля.....	37
§ 2.1. Калибровочный принцип	37
§ 2.2. Современные представления о структуре материи. Классификация элементарных частиц	49
§ 2.3. Современные представления о физическом вакууме. Идея спонтанного нарушения симметрии вакуума.....	65
§ 2.4. Великое объединение. Суперсимметрия. Супергравитация	70
§ 2.5. Суперструны.....	82
§ 2.6. Современная космология	85
§ 2.7. Антропный принцип.....	101
§ 2.8. Экспериментальные возможности современной физики элементарных частиц и космологии.....	115
Глава 3. Философский анализ оснований современной физики элементарных частиц и космологии.....	123
§ 3.1. Концепция целостности как основополагающий принцип построения единой теории поля	123
§ 3.2. Вакуум как исходная абстракция в физике.....	142
§ 3.3. Философский анализ проблемы геометризации физики.....	153
§ 3.4. Самоорганизующаяся Вселенная и основной вопрос философии	158
§ 3.5. Антропологическая тема в современной физике	163
Заключение.....	168
Литература	169

Современный этап развития физики элементарных частиц можно назвать поистине революционным, ибо он, с одной стороны, основывается на нетривиальных физических идеях, а с другой стороны, не просто требует для своего анализа новых методологических подходов, но и способствует становлению и развитию такого новационного направления, как синергетика. Именно по этой причине в настоящей работе сделана попытка синергетического осмысления новейших результатов физики.

Следует выделить некоторые особенности состояния дел в современной физике: во-первых, произошло полное слияние двух различных в прошлом научных дисциплин — физики элементарных частиц и космологии. В физике элементарных частиц предпринята программа построения единой теории всех физических взаимодействий. Такая перспектива представляется, несмотря на ряд трудностей, вполне реализуемой. Основу для оптимизма ученых составляет тот непреложный факт, что все известные физические взаимодействия имеют калибровочную природу. Основными физическими идеями при создании данной теории выступают следующие: представления о кварково-лептонном структурном уровне вещества; калибровочная природа физических взаимодействий и идея о спонтанном нарушении симметрии физического вакуума. В рамках данной программы выработалось представление о доминирующей роли физического вакуума в возникновении и функционировании всего физического многообразия известного нам мира. Новые представления о вакууме оказались фундаментальными при составлении космологических сценариев эволюции Вселенной. Таким образом, космологические проблемы и проблемы физики элементарных частиц не просто лежат в одной плоскости, а сплавлены в одном содержании. Основным объектом изучения физики становится эволюционирующая Вселенная, и с позиции рассмотрения уже ставшей и развитой целостности здесь делается попытка объяснения различных физических явлений.

Следует отметить, что физика с момента своего возникновения всегда стремилась к созданию унифицированной системы знаний о мире. Выработанная в современной физике концепция холизма, согласно которой «неделимая взаимосвязанность целостной Вселенной есть фундаментальная реальность, а относительно независимо ведущие себя части суть просто её особые и случайные формы» [170. С. 102], требует для своего методологического анализа использования принципов и методов диалектической логики. Ибо, как справедливо отмечает Э. Ильенков: «Признание определяющей роли целого по отношению к его частям — точка зрения, исходящая из це-

лого и приходящая затем к пониманию частей этого целого, — и была всегда той почвой, на которой выростала диалектика» [64. С. 281]. В то же время на этой же почве развивается и современная синергетическая методология. В работах многих ученых говорится о том, что категориальный аппарат диалектики должен быть рассмотрен в качестве основы категориального описания синергетических систем. Задачей настоящего методологического исследования является, в том числе, попытка выявить точки пересечения, пресмственности и дополнительности диалектического и синергетического подходов на основе анализа результатов физической науки.

В работе особое внимание уделяется эпистемологическому повороту в современной физике и космологии, связанному с тем, что многие гипотезы, рассматриваемые на теоретическом уровне, не могут пройти непосредственную экспериментальную проверку. Пользуясь термином, предложенным А. Павленко [104], приходится констатировать тот факт, что предсказания современной науки вошли в стадию «эмпирической невесомости». По этой причине в книге приведен анализ критических экспериментов, предпринятых мировым научным сообществом в начале XXI века.

Комплекс рассматриваемых проблем определяет структуру настоящего исследования. В первой главе внимание уделено основным этапам развития физической науки с использованием концепции физических исследовательских программ и даются необходимые сведения о принципах диалектической логики и синергетики. Вторая глава посвящена непосредственно проблемам, связанным с созданием единой теории поля, т. е. последовательно в параграфах главы рассмотрены основные физические идеи, на базе которых эта программа строится. Это — калибровочный принцип и связанная с ним программа геометризации физики; современная классификация элементарных частиц; новые представления о физическом вакууме, теория суперструн. Отдельный параграф посвящен рассмотрению генезиса и этапов развития космологии как науки. В третьей главе сделана попытка диалектико-синергетического осмысления рассматриваемых теорий, анализа этических проблем, вскрываемых современным развитием собственно физической науки, особенно в связи с рассмотрением антропного принципа.

Вопросы, рассмотренные в настоящей монографии, получили освещение в ряде ранее изданных статей (написанных, в том числе, и с соавторами), на которые в работе имеются соответствующие ссылки, а также в монографии «Вакуум», изданной в 1993 году. Однако за прошедшее десятилетие физическая теория шагнула вперед в уточнении ряда своих положений и в расстановке приоритетов. Поэтому я считала целесообразным в этом труде попытаться представить более обстоятельно целостную картину тех проблем, которые волнуют физическое сообщество, и провести их философский анализ. Основная цель, которую я преследовала при

написании данного труда, — это привлечь внимание ученых к синергетической наполненности физической теории. К сожалению, это обстоятельство не является столь уже очевидным. Об этом свидетельствуют точки зрения ряда выдающихся современных физиков (см., например, [21; 43]), причисляющих себя к последовательным сторонникам редукционистской методологии.

Автор выражает особую благодарность члену-корреспонденту РАН Ю. А. Жданову, члену-корреспонденту РАН В. Я. Файнбергу, доктору физико-математических наук В. П. Саченко, кандидату физико-математических наук Г. М. Верешкову за обстоятельное обсуждение рассмотренных в монографии проблем.

Глава 1

Методология исследования

§ 1.1. Концепция физических исследовательских программ. Типы физических исследовательских программ

Концепция физических исследовательских программ представляется итогом почти полувековой напряженной работы ряда физиков, философов, историков и методологов науки в выработке более емкой структурно-понятийной научной формации, чем фундаментальная теория. Анализ методологических проблем, возникших в науке, в рамках этой концепции представляется весьма продуктивным. Сам по себе поиск более емкой структурно-понятийной формации продиктован теми трудностями, которые возникли при анализе развития науки уже к началу XX века. Большинство из них своими корнями уходят в позитивистскую традицию анализа научного знания.

Общая позитивистская установка, как известно, состоит в признании только «позитивного» знания, т. е. научного знания, полученного конкретными науками, логический анализ структур которого только и должен быть предметом деятельности философа. Если позитивизм XIX века и махизм еще рассматривают философию как теорию познания точных наук, то неопозитивизм за философией оставляет только одну деятельность — «философский анализ», целью которого должно стать устранение «метафизики» из научной теории. В качестве обоснования научности теорий должно выступать их эмпирическое подтверждение. Если же какие-то суждения о мире не редуцируются к «протокольным», «фактуальным» (эмпирически подтвержденным), то они являются метафизическими и должны быть элиминированы из тела науки. История неопозитивизма, смена различных его школ и направлений пронизана главной идеей «устранения метафизики логическим анализом языка» (Р. Карнап). Каждая предшествующая неопозитивистская школа не в состоянии в полной мере справиться с этой задачей (логический атомизм Б. Рассела и Л. Витгенштейна, логический позитивизм «Венского кружка»), что, в свою очередь, стимулирует возникновение последующих форм неопозитивизма — Берлинской группы, семантического анализа, лингвистического анализа и т. д. Основные усилия всех неопозитивистских школ, направленные на устранение мировоззренческой компоненты как «метафизической» из научного

знания, в конечном счете, оказались неосуществимыми. Так что современная философия по многим вопросам развивается в ином направлении. Однако несомненный вклад философии неопозитивизма в историю науки состоит в том, что основное внимание ее было обращено на анализ значений и употреблений, а не на спекуляции по поводу свойств и сущностей. Это способствовало выработке строгого научного языка и укрепило критерий ответственности за разъяснение той логики, посредством которой фактически обосновывается научное знание. К слову сказать, такой подход в ряде аспектов актуален и сегодня в связи с расцветом так называемой альтернативной «науки», включающей в себя мистику, оккультизм, представления о торсионных полях и т. д., и т. п.

Широкое влияние позитивизма на представителей многих отраслей науки привело к выработке, если можно так выразиться, протокольного эталона оформления результатов научных исследований в научных работах, что не могло не сказаться и на форме написания учебной литературы. В то же время позитивизм оказал существенное влияние и на стимулирование высокой моральности научных исследований, о которой так хорошо высказался Ч. Сноу в книге «Две культуры» [128. С. 132–133].

Попытки логических позитивистов провести «демаркационную линию» между научными и «метафизическими» (ненаучными) высказываниями обнаружили в самих научных теориях особые пласты, которые из самой теории не выводятся, а являются архетипами всей культуры в целом, играя роль, пользуясь термином, предложенным С. Н. Жаровым, «затравочных образов» теории [51]. Важно при этом, что «затравочные образы» выступают при этом в качестве системообразующих принципов построения самой теории. Это и явилось основной трудностью, с которой столкнулся логический позитивизм в своем стремлении устранить психологические, исторические, социокультурные факторы из тела науки, оставляя в стороне проблему генезиса научного знания, сосредоточивая все внимание на анализе готового финального знания. Тем самым позитивизм породил кумулятивную эпистемологию, согласно которой рост науки представляет собой накопление доказанных, эмпирически обоснованных истин, и как следствие такого подхода, антиисторизм в анализе развития науки. Антиисторическая направленность позитивизма определила и то скромное место, которое отводилось истории науки в системе образования.

Одним из первых ученых, работы которого расходятся с традиционной позитивистской позицией, внесшим несомненный вклад в новое понимание сущности науки, ее развития и истории, явился Александр Койре. Работы А. Койре по истории науки утверждают некумулятивный подход к анализу развития науки путем выявления глобальных предпосылок, детерминирующих возможность появления тех или иных научных идей. Смена этих предпосылок рассматривается им как научная революция.

Концепция научной революции впервые изложена А. Койре в работе «Этюды о Галилее», вышедшей в 1939 году и оказавшей значительное влияние на Томаса Куна. В этой работе Койре кладет начало новому направлению в истории науки — интернализму. Таким образом, выкристаллизуются два альтернативных методологических подхода к анализу науки — интерналистский, согласно которому определяющей доминантой развития науки являются ее внутренние закономерности, имманентная логика движения научной мысли, и экстерналистский, в котором на первый план выдвигается социальная, определяемая, в основном, внешними факторами, обусловленность развития знания. Попытки преодоления односторонности обеих подходов привели к возникновению культурно-исторического подхода анализа науки, согласно которому наука стала рассматриваться в системе культуры, как часть общей истории человечества.

Исследования, предпринятые историками и методологами науки в культурно-историческом аспекте, представляются чрезвычайно важными. Следует сказать, что стремление к анализу развития естествознания, в особенности физики, на фоне интеллектуальной атмосферы той или иной эпохи было проявлено в первую очередь именно крупными учеными-физиками. Так, в 1909 году появляется статья Макса Планка «Единство физической картины мира», в которой он, полемизируя с Эрнстом Махом по поводу «экономичности» маховского принципа экономии в становлении и стимулировании научных идей, ставит вопрос о конечной и высшей цели, идеале изучения природы — создании единой картины мира. «Таким путем мы придем к более реалистическому способу выражения, который даже с экономической точки зрения следует предпочесть сложному и с трудом воспринимаемому позитивизму Маха» [110. С. 50]. Используется понятие картины внешнего мира, а также определенного типа воззрений (расцвет механистического воззрения, упадок механистического воззрения и т. д.) в работах А. Эйнштейна. При этом Планком и Эйнштейном не проводится методологический анализ понятия научной картины мира и не ставится вопрос о статусе этого понятия, однако подчеркивается его роль и влияние на формирование и развитие будущих научных теорий. Научная картина мира в качестве более широкой структурно-понятийной формации, чем научная теория, была рассмотрена, начиная с 60-х годов XX века в работах отечественных философов и методологов науки (В. С. Степин, М. В. Мостепаненко, А. М. Мостепаненко, В. С. Готт и многие другие. См. подробнее по этому вопросу [99]). В 1932 году появляется статья Эрвина Шредингера «Обусловлено ли природознание окружающей средой?» [160], в которой автор ставит и исследует вопрос о влиянии культурной среды, культурного фона на развитие естествознания. «Вопрос состоит в том, — отмечает Э. Шредингер, — инвариантны ли высказывания естествознания относительно культурной среды или они нуждаются в ней, как в „системе отсчета“ и при

сильном изменении культурной среды, если и не становятся в деталях ошибочными, то существенно меняют свой собственный смысл и интересы?» [160. С. 40]. Среди черт, характерных для современной физики и, по мнению Шредингера, обусловленных культурной средой, им выделяются следующие: «чистая деловитость»; потребность в крутых изменениях, пристрастие к освобождению от традиций; мысли об относительности; методика массового управления; статистика. [160. С. 33]. Большое внимание изучению философских основ физики уделял М. Борн. Он вводит в рассмотрение понятие «стиля мышления» ученых в определенные научные эпохи. Впоследствии понятие «стиля мышления» становится предметом анализа в работе отечественных ученых (Ю. В. Сачков, В. С. Степин и др.). Рассмотрение науки в системе культуры через взаимовлияние науки и других форм общественного сознания отличает лекции и статьи В. Гейзенберга. Он один из первых, кто ставит вопрос о сближении гуманитарного образования и естествознания, видя в этом традицию западной культуры, восходящей к «радикальности мышления древних греков» [35. С. 41]. Разумеется, этот список можно было бы с успехом продолжить.

Научные революции в физике XX века стимулировали необходимость анализа науки как системы одновременно и развивающегося и функционирующего знания. Интерналистский подход А. Койре не мог в полной мере обеспечить этот анализ, ибо в качестве основной единицы такого анализа оставалась научная теория. Вышеприведенные точки зрения крупнейших физиков нашей эпохи выражают как раз то обстоятельство, что сама по себе только научная теория не может служить отправной единицей для решения поставленной задачи, ибо сама является лишь одним из элементов сложной системы производства научного знания, элементом более крупной целостности и для своего же выражения требует более «емкой структурно-понятийной формации». Думается, что именно стремление физиков к созданию общей теории естествознания на фоне интеллектуальной атмосферы той или иной эпохи и явилось тем побуждающим мотивом, который обеспечил всплеск культурно-исторических и методологических работ о механизмах возникновения и роста научного знания в 60-х годах XX столетия, породивших ряд нетрадиционных, постпозитивистских концепций.

Среди них — эволюционистская эпистемология К. Поппера, основной задачей которой является проблема роста и развития знания, подразумевающая механизм, аналогичный биологической борьбе за существование, что представляет собой критика научных гипотез. В состав науки входят только те гипотезы, которые выживают после фальсификации (попытки опровержения гипотезы экспериментом) и после теоретической критики. Иными словами, позитивистский верификационный принцип Поппера заменяет принципом фальсификации. Проблема усовершенствования научной теории Поппером не рассматривается вовсе. Любая теория,

по его мнению, конвенциональна, т. е. не является истинной по существу, а является истинной лишь конвенционально, т. е. по соглашению. Следует признать, что Поппер по-новому взглянул на проблему отношения рационального и иррационального в науке. Если позитивистским критерием демаркации провозглашена именно рациональность, то Поппер доказывает, что рациональное всегда имеет иррациональную основу.

Другая концепция, снискавшая себе наибольшую популярность в научной среде, — концепция парадигмы Томаса Куна. В языкознании под грамматической парадигмой понимается образец, согласно которому копируются процедуры. Отсюда, по-видимому, это понятие и заимствовано Куном: «Под парадигмами я подразумеваю, — пишет Кун, — признанные всеми научные достижения, которые в течение определенного времени дают модель постановки проблем и их решений научному сообществу» [77. С. 11]. Попыткой преодоления недостатков попперовской и куновской концепций явилось понятие научно-исследовательских программ, выдвинутое И. Лакатосом.

Итак, в рамках культурно-исторического подхода были выработаны следующие понятия: культурной среды (культурного фона), стиля мышления, типа научной рациональности, научной картины мира, научной парадигмы, научной исследовательской программы, физической исследовательской программы. Каковы доводы в пользу той или иной концепции при использовании их в анализе динамики естественнонаучного знания? Доводы эти приведены в работе [7]. Ввиду их убедительности представляется целесообразным рассмотреть их в связи с обсуждаемой проблемой.

Надо отметить, что тип научной рациональности и стиль мышления — это близкие, даже идентичные понятия. При этом они являются достаточно широкими, однако, никак не структурированными. Главное же состоит в том, что они отражают уже произошедшие в науке изменения. Что касается научной картины мира, то она представляет собой специфически обобщенный образ научных представлений о различных формах движения, онтологизацией и универсализацией их на определенном этапе развития науки. При этом строится научная картина на базе уже сформированных фундаментальных теорий, так что вопрос о механизмах смены научных теорий остается здесь как бы в стороне. Представляется, что понятия стиля мышления, типа научной рациональности, научной картины мира должны быть непременно использованы в качестве результата, итога произошедших в науке перемен. Саму же динамику развития естествознания правильнее представлять с использованием других структурно-понятийных научных формаций. Понятие парадигмы Куна при всей его привлекательности, к сожалению, является слабо структурированным. В критической литературе часто высказываются упреки в адрес концепции Куна по поводу аморфности понятия парадигмы, отсутствия

строгости при ее определении, вследствие чего в работе «Структура научных революций» придирчивые читатели насчитывают чуть ли не более шестидесяти определений парадигмы. Между тем, в вышедшем в 1969 году (через семь лет после издания книги) «Дополнении» Кун пытается доказать, что термин «парадигма», как правило, используется в книге в двух различных смыслах. «С одной стороны, он обозначает всю совокупность убеждений, ценностей, технических средств и т. д., которая характерна для членов данного сообщества» [77. С. 220], т. е. в этом смысле в понятие парадигмы включаются все социокультурные факторы. Осознавая экстерналистскую односторонность такого подхода, Кун настаивает на втором смысле понятия парадигмы, считая именно его основным. «С другой стороны, он указывает один вид элемента в этой совокупности — конкретные решения головоломок, которые, когда они используются в качестве моделей или примеров, могут заменять эксплицитные правила как основу для решения неразгаданных еще головоломок нормальной науки» [77. С. 220], т. е. парадигма — это не просто научная теория, но и способ действия в науке, образец решения исследовательских задач. Первый смысл термина Кун называет «социологическим», второй — «образцовым достижением прошлого». Даже такое предпринятое Куном сужение понятия парадигмы к двум смыслам не делает определение этого понятия более конкретным. Здесь усматривается попытка связать два важных аспекта развития науки — социокультурный и когнитивный, но внешним и, в общем-то, поверхностным образом. Куну не удается найти механизм, выработать критерии, на основании которых можно было бы синтезировать два смысла термина парадигмы в органическую целостность. Причина этого состоит в том, как верно отмечают С. Р. Микулинский и Л. В. Маркова, «что Кун отказался от рассмотрения вопроса, как возникает новое знание. А не решив его, невозможно выяснить и вопрос о критерии истинности знания. Отсюда и отсутствие обоснованного критерия выбора между конкурирующими теориями» [92. С. 280]. Заслуга Куна состоит в том, что он вводит в качестве основного метода исследования развития науки принцип историзма, рассматривает реальные научные теории с учетом социально-психологического фактора. Однако слабая структурированность концепции парадигмы не позволяет ей адекватно отразить процесс развития такой науки как физика.

Концепция научно-исследовательской программы Лакатоса — попытка преодоления жесткого попперовского фальсификационизма и кунновского иррационализма. Основными элементами концепции Лакатоса являются «твердое ядро» основных гипотез, законов и теорий и «защитный пояс» дополнительных гипотез. Фальсификации, т. е. теоретической критике и эмпирическому опровержению, подвергаются лишь гипотезы защитного пояса. Пояс потому и называется защитным, что изменения в нем не затрагивают твердого ядра, подвергать фальсификации которое за-

прещается. Основой принятия того или иного ядра программы является рациональная конвенция. Твердое ядро позволяет формулировать новые гипотезы защитного пояса. При обнаружении несоответствия теории с экспериментом теория может быть изменена за счет изменения гипотез из системы защитного пояса. В отличие от конкретной научной теории, научная исследовательская программа претендует на всеобщий охват явлений и задает направление научных разработок — позитивную эвристику. В концепции научно-исследовательских программ, по мнению Лакатоса, удастся избежать иррационализма Куна по вопросу о выборе между конкурирующими теориями, выдвигающему для объяснения этого момента социальные или психологические аргументы. Однако это не так. В концепции Лакатоса нет ни объяснения, ни аргументации, почему в качестве твердого ядра программы выбирается та или иная совокупность рациональных конвенций, и каковы механизмы продуцирования гипотез защитного пояса. Как совершенно верно отмечают М. Д. Ахундов и С. В. Илларионов: «В физике, начиная с середины XVIII в., основные положения твердого ядра программы формируются не на основе конвенций, а будучи организованными в определенную целостную систему, которая выступает как некая абстрактная физическая теория (с комплексом методологических принципов ее построения) — базисная теория физической исследовательской программы. Если научная революция связывается со сменой исследовательских программ, то это означает, что она связана и со сменой таких базисных теорий» [7. С. 98–99]. Таким образом, эти авторы предлагают для рассмотрения динамики научного знания в физике структурно-понятийную формацию, названную ими физической исследовательской программой, в которой в качестве твердого ядра выступает базисная теория. Основная мысль, которая преследуется авторами физической исследовательской программы, состоит в том, что фундаментальные теории, как правило, монотеоретичны. Концепция же физических исследовательских программ генерирует целый спектр теорий различных классов явлений, поскольку базисная теория может соединяться с различными конкретизациями объектов исследования. Иными словами, физическая исследовательская программа базируется на основных понятиях и отношениях концепции научно-исследовательской программы Лакатоса, но с тем важным уточнением, что в основе «жесткого ядра» лежит не фундаментальная теория, а базисная теория. Фундаментальная теория является конкретной теорией специального класса явлений. Базисная же теория должна быть представлена в такой обобщенной и абстрактной форме, которая допускает ее соединение с достаточно широким классом специальных конкретизаций и дополнительных гипотез, т. е. базисная теория представляет собой синтез нескольких фундаментальных теорий, формируется с признаками системообразующей целостности. Именно этот фактор лежит в основе

отличия базисной теории от фундаментальной. Так что не всякая фундаментальная теория становится базисной. «Твердое ядро» лакатосовской модели, используя различные гипотезы из защитного пояса, обеспечивает развитие какой-то одной конкретной фундаментальной теории. Базисная же теория использует дополнительные гипотезы не только для защиты одной теории, но способна соединяться с различными объектами исследований, формируя тем самым целый ряд фундаментальных теорий разнокачественных объектов. Так, например, стандартная модель квантовой теории поля как базисная теория формирует целый ряд фундаментальных теорий: атомную физику, ядерную физику, физику элементарных частиц, физику кварков и т. д. Именно базисные теории дают возможность для развертывания в рамках программы концепций, имеющих трансдисциплинарный характер.

Базисная теория, так же как и «твердое ядро» концепции Лакатоса, включает в себя «затравочные образы». Как уже отмечалось, «затравочные образы» полностью не «растворяются» даже в содержании развитой теории, а функционирует в ней как логически необходимое ядро теоретического образа и формируют соответствующие принципы, на основе которых строится научная теория. Механизм революционных изменений в науке, возникновения новых исследовательских программ, связан как раз с пересмотром этих принципов. Потому чрезвычайно важно фиксировать и исследовать затравочные образы в базисной теории существующей научно-исследовательской программы.

В истории развития физики можно выделить четыре физические исследовательские программы:

- механистическая исследовательская программа;
- релятивистская исследовательская программа;
- квантово-полевая исследовательская программа;
- современная физическая исследовательская программа — единая теория поля.

Механистическая исследовательская программа предпосылкой своего возникновения имеет механику Ньютона. Затравочными образами ньютоновской механики выступают атомы (корпускулы) и пустота, а также абсолютное пространство и абсолютное время. Исходные принципы механики Ньютона являлись нематематизированными, однако базируясь на них, он получил математизированные следствия, ввел математическую символику для описания фундаментальных понятий физики и создал фундаментальную теорию — механику материальной точки. Понятие материальной точки впервые введено Эйлером, он же продолжает деятельность Ньютона и рассматривает большое число задач движения свободной точки в пустоте и в среде с сопротивлением, а также исследует дви-

жение систем связанных точек. Это последовательно приводит его к созданию фундаментальной теории — механики твердого тела. Создание **базисной** теории механистической исследовательской программы следует связывать с именем Лагранжа и его последователей — Гамильтона, Лапласа, Якоби и др. Обобщив достижения в области механики точки, связанных точек, движущихся по различным поверхностям, механики твердого тела, гидродинамики, теории машин и др., Лагранж находит **общий аналитический метод** решения различных механических задач. В дальнейшем, базисная теория — аналитическая механика, соединяясь с различным классом различных объектов, приводит к формированию фундаментальных теорий, таких как механика небесных тел, гидродинамика, аэродинамика, механика твердого тела, теория упругости и т. д. Основными методологическими принципами построения механистической исследовательской программы выступают следующие.

1. Концепция использования математики как языка физической науки

В 1687 году выходит трехтомный труд Ньютона «Математические начала натуральной философии», написанный в соответствии с «Началами геометрии» Евклида, в духе классического образца того времени. Работа Ньютона стала основой новой методологии естествознания, отводившей математике более значительную и фундаментальную роль, чем это было в работах его предшественников. Вслед за Галилеем Ньютон считал важнейшим делом в основу получения естественнонаучных понятий, принципов и законов класть не физические гипотезы, а математические посылы, которые сами были бы выводимы из экспериментов и наблюдений.

Юджин Вигнер в работе «Непостижимая эффективность математики в естественных науках» [29] обращает внимание на чрезвычайную эффективность математики в естественных науках. Самый важный факт состоит в том, что все картины природы, рисуемые наукой, которые только могут находиться в согласии с данными наблюдений, — картины *математические*. Очень часто чисто математические рассуждения приводят к предсказанию нового ряда явлений.

Таким образом, начиная с формирования механистической исследовательской программы концепция математического обоснования явлений природы, становится доминирующей в естествознании.

2. Концепция пространственно-временных отношений в природе

Пространство и время являются основными категориями в физике, ибо большинство физических понятий вводятся посредством операциональных правил, в которых используются расстояния в пространстве и

время. В то же время пространство и время относятся к фундаментальным понятиям культуры. Ньютон строит свою теорию, опираясь на субстанциональное представление о пространстве и о времени, введя в качестве основных — понятия абсолютного пространства и абсолютного времени. «Абсолютное пространство по самой своей сущности, безотносительно к чему бы то ни было внешнему остается всегда одинаковым и неподвижным... Абсолютное, истинное математическое время само по себе и самой своей сущности, безо всякого отношения к чему-либо внешнему протекает равномерно и иначе называется длительностью... Время и пространство представляют собой как бы вместительницы самих себя и всего существующего. Во времени все располагается в смысле порядка последовательности, в пространстве — в смысле порядка положения. По самой своей сущности они есть места, приписывать же первичным местам движения нелепо. Вот эти-то места и суть места абсолютные, и только перемещения из этих мест составляют абсолютные движения» [102]. Ньютон подчеркивает, что само по себе движение имеет относительный характер, «относительное движение тела может быть и произведено и изменено без приложения сил к этому телу» [102], т. е. в зависимости от системы отсчета, относительно которой это движение рассматривается. При этом система отсчета должна обязательно либо покоиться, либо двигаться равномерно и прямолинейно по отношению к абсолютному пространству. Понятие силы Ньютон вводит в качестве абсолютного элемента. Истинное абсолютное движение, в отличие от относительного, «не может ни произойти, ни измениться иначе, как от действия сил, приложенных непосредственно к движущемуся телу». Ньютон дает также динамическую трактовку массы тела, как индивидуальной характеристики тела по отношению к нетождественному ему пустому пространству, т. е. понятия «силы» и «массы» у Ньютона — это как бы «надпространственные» понятия. Сам факт введения Ньютоном пространства пустого, постулирование им абсолютного пространства было продиктовано трудностями, возникшими при объяснении движения тел в неинерциальных системах отсчета, с невозможностью объяснения наличия сил инерции в системах отсчета, движущихся с ускорением, взаимодействием тел. Введение же абсолютного времени, т. е. времени, не зависящего от движения, основывается на постулате о мгновенном распространении взаимодействий в пустоте, что явилось основой построения Ньютоном теории тяготения.

3. Концепция иерархического строения материи и континуалистского характера движения

В основу иерархического строения вещества кладется атом Демокрита, который в Новое время рассматривается как экспериментально исследуемая частица. Любая вещь считается состоящей из атомов и может быть

разложена на свои составляющие. Атом рассматривается как первичный «кирпичик» вещества, который неделимый, неизменный, вечный. Атомистическая (корпускулярная) концепция содержит в себе представление о дискретной структуре вещества, ибо наряду с атомами принимает наличие пустоты между ними.

Механика Ньютона представляет собой синтез различных методологических установок его предшественников: корпускулярная концепция (атомы и пустота) у него связывается с аристотелевской континуалистской концепцией непрерывного пространства, непрерывного времени и движения. Континуалистская концепция явилась предпосылкой создания аппарата интегрального и дифференциального исчисления и была неоспоримой парадигмой научного сообщества вплоть до открытия Планка.

4. «Себетождественность» физического объекта, «внеположность» его в пространстве и во времени

«Себетождественность» физического объекта — это принцип, который является следствием представлений о непрерывном пустом пространстве и непрерывном времени, в котором выделено индивидуальное тело. «Себетождественность» движущегося тела гарантируется непрерывным изменением координат и непрерывным изменением времени, что позволяет одновременно и зарегистрировать существование тела, и определить его скорость между одним положением и другим. Отсюда вывод: перед нами одно и то же тело, само себе тождественное внеположенное в пространстве и во времени. Из непрерывности состояний «себетождественного» объекта вытекает существование дифференциальных уравнений, с помощью которых, зная начальные условия, можно с абсолютной достоверностью предсказать все последующее движение тела.

5. Детерминированность поведения физического объекта (строгая однозначная причинно-следственная связь между конкретными состояниями объекта). Обратимость всех физических процессов

Интегрирование дифференциальных уравнений сводится к вычислению траекторий движения частицы, которые дают полное описание поведения частицы как в прошлом, настоящем, так и в будущем, т. е. характеризуются свойствами детерминированности и обратимости. Достаточно точного задания начальных условий и уравнений движения тела, чтобы получить полное описание движения частицы. Собственно, основной задачей механики является определение траектории движения тела, т. е. установление строгой причинной зависимости координат (положения тела в пространстве) в зависимости от времени.

В классической механике движение тела происходит по строго определенным траекториям, т. е. вследствие «себестождественности», индивидуальности физического объекта мы всегда можем одновременно измерить и его координату, и его скорость.

6. Механистическая концепция целого и части

Можно выделить три основных момента механистической концепции целого и части:

1. Целое рассматривается как простое соединение элементов. Возможно разложение, разделение целого на его элементы, т. е. редукция сложного к простому.
2. Элементы целого рассматриваются как неизменяющиеся, простые, неделимые.
3. Элемент внутри и вне целого один и тот же. Это формирует представление об объекте познания как самостоятельной сущности с присущими ему характеристиками и свойствами, не зависящими от условий познаний, а тем более от познающего его субъекта.

Бесспорно, под влиянием воздействия на элемент другие элементов системы, элемент может изменять ряд своих характеристик. Но при этом в классической физике предполагается, что это воздействие является контролируемым и может быть оценено с позиций жесткой причинно-следственной обусловленности результатов воздействия.

Механистическая идеология господствовала на всем горизонте научных исследований вплоть до XX века. Однако возникли физические теории, которые не могли быть проинтерпретированы в рамках механистической исследовательской программы — это термодинамика и электродинамика. Необходимость в устранении возникших несогласованностей и коллизий привело к возникновению новой физической программы — релятивистской.

Забегая вперед, скажем, что практически все (кроме первой) перечисленные выше концепции механистической исследовательской программы были пересмотрены в корне, что явилось причиной произошедших в физике научных революций и привело к возникновению других физических исследовательских программ.

Релятивистская исследовательская программа своим возникновением обязана попытке построения простой, свободной от противоречий электродинамики движущихся тел. Это построение было успешно осуществлено А. Эйнштейном в созданной им специальной теории относительности (СТО). Теория относительности базируется на новом взгляде на природу пространства и времени, и является, по существу, новой кинематической теорией, критически переосмысливающей понятия пространства и времени ньютоновской механики. На смену пространства Евклида в СТО приходит

четырёхмерное псевдоевклидово пространство Минковского, в котором время по своему месту в физических уравнениях эквивалентно трем пространственным координатам. В специальной теории относительности пространство и время не могут быть рассмотрены независимо друг от друга, а речь идет о четырехмерном пространстве-времени. Четырёхмерный формализм позволил создать адекватный математический аппарат для обобщенного описания специальной теории относительности, т. е. создать базисную теорию релятивистской исследовательской программы. Все фундаментальные физические теории впоследствии были переформулированы в четырехмерном формализме.

Несмотря на революционность специальной теории относительности, на возникновение на ее основе новой релятивистской исследовательской программы, включающей в себя ньютоновскую механику как свой предельный случай, релятивистская исследовательская программа не привела к новому типу научной рациональности. Здесь возникает совершенно иной взгляд на пространство-время, однако вся эволюция физических явлений сохраняет идеал классического описания в смысле жесткой причинно-следственной, детерминированной связи явлений. Важно отметить также, что с момента создания теории относительности в качестве фундаментального регулятива построения физической теории стал выступать принцип относительности (принцип инвариантности) как всеобщий, строго и точно действующий закон.

Стремление распространить принцип относительности на любые типы движения приводит Эйнштейна к созданию **общей теории относительности (ОТО)**. Общая теория относительности лежит в основе космологии — науки о происхождении и эволюции Вселенной. Несмотря на широкий диапазон и спектр математических обобщений, используемых в построении ОТО, на сегодняшний день она может рассматриваться как фундаментальная теория, а именно как классическая теория гравитации. По всей видимости, только синтез ОТО и квантовой теории поля приведет к построению базисной теории четвертой из рассматриваемых нами физических исследовательских программ — единой теории поля.

В качестве основных методологических принципов релятивистской исследовательской программы выступают следующие:

1. Концепция относительности (инвариантности).
2. Концепция микропричинности, согласно которой взаимодействия передаются с конечной скоростью, равной скорости света.
3. Концепция единого четырехмерного пространственно-временного континуума.

Квантово-полевая исследовательская программа. Гениальная идея, высказанная Максом Планком, о дискретном характере излучения, о корпус-

кулярной природе света привела к возникновению квантовой механики. Квантовая механика — фундаментальная теория, позволяющая описывать поведения объектов в микромире. Основопологающей в квантовой механике является идея о том, что корпускулярно-волновая двойственность свойств, установленная для света, имеет универсальный характер и распространяется на все объекты микромира. Синтез релятивистской исследовательской программы и квантовой теории привел к созданию квантовой электродинамики, — фундаментальной теории, описывающей электромагнитные взаимодействия. Именно на основе этой фундаментальной теории была в дальнейшем разработана базисная теория квантово-полевой исследовательской программы, называемая Стандартной моделью (СМ) квантовой теории поля.

На протяжении всей истории возникновения и становления квантово-полевой исследовательской программы имело место формирование нового **неклассического** типа научной рациональности, нового стиля мышления ученых, резко отличающегося от привычного классически-механистического.

Основные принципы, лежащие в основе квантово-полевой физической исследовательской программы являются:

1. Представление о статистической природе микрообъектов.
2. Представление о корпускулярно-волновой природе микрообъектов.
3. Концепция физической целостности.

Эти особенности квантово-механических объектов находят свое отражение в основополагающих принципах квантовой физики — принципе неопределенности и принципе дополнительности.

Единая теория поля. На современном этапе предпринята программа построения единой теории поля — новой физической исследовательской программы, в которой удалось бы объединить все известные четыре типа физических взаимодействий — гравитационное, электромагнитное, сильное и слабое в единое суперсимметричное суперполе. В рамках этой программы предполагается рассмотрение эволюции Вселенной из этого суперсимметричного состояния, в котором вся материя представлена только физическим вакуумом. Спонтанное нарушение симметрии вакуума в процессе расширения Вселенной и приводит к многообразию физического мира. Успех построения единой теории поля связан с возможностью осуществления синтеза общей теории относительности и квантовой теории поля.

Разрабатываемая программа имеет целостно-синергетическую направленность и способствует формированию **постнеклассического типа научной рациональности.**

Использование концепции физических исследовательских программ позволит наиболее адекватно выполнить те задачи, которые поставлены в настоящем исследовании.

§ 1.2. Диалектическая логика

Если бы настоящая работа писалась всего лишь два десятка лет тому назад, то у читателя возникло бы чувство недоумения по поводу появления настоящего параграфа в книге. Ведь принципы диалектики в той или иной степени излагались практически в любом учебнике или учебном пособии по философии и были в достаточной мере известны советским специалистам любых направлений. Потому философский анализ проблем естествознания можно было проводить на основе диалектики, применяя ее как известный (с разной степенью глубины, разумеется) читателю метод. Однако ситуация сегодня в корне изменилась, ибо диалектика элиминирована из большинства современных учебников по философии, и это находится в полном соответствии с действующим Госстандартом. Ирония ситуации состоит в том, что хотя диалектика и обвиняется во всех политических и социальных перекосах нашего непростого социалистического прошлого (под названием «диалектический материализм» культивировалась определенная идеология в советском обществе), однако говорить о торжестве как раз диалектики в эту эпоху не приходится. Достаточно указать хотя бы на те проблемы, которые существовали в связи с официальным тезисом об отсутствии противоречий при социализме, в связи с полным забвением в течение длительного советского периода такого закона диалектики как закон отрицания отрицания, неосторожное упоминание которого грозило 58 статьей Уголовного кодекса СССР, на торжество «лысенковщины» и т. д. И в то же время, — серия блестящих работ советских ученых с использованием принципов диалектики по проблемам обоснования оснований математики, проблемам теории относительности и квантовой механики, современной биологии и т. д., и т. п. А ведь диалектика существует 2000 лет и представляет собой квинтэссенцию человеческой мысли, перечеркивание диалектики — это, по существу, перечеркивание всей истории философии.

Диалектика как Логика сформировалась в немецкой классической философии и на многие годы опередила развитие естественнонаучной мысли. На это обстоятельство обращает внимание В. С. Степин: «Во времена Гегеля естествознание еще не имело в своем распоряжении адекватных образов сложной развивающейся системы. В биологии такие системы описывались, скорее, феноменологически, нежели структурно (это относится и к теории Дарвина). Категориальную сетку, характеризующую сложные развивающиеся системы, Гегель разрабатывал на основе представлений о саморазвитии абсолютной идеи. Само это представление, хотя и включало ряд спекулятивно-мистических наслоений, содержало немалый эвристический потенциал. Его можно интерпретировать как идеализированный образ оснований культуры, ее мировоззренческих универсалий. Гегель, по существу, построил особую идеализацию культуры (хотя,

разумеется, сам он так не рассматривал свою концепцию абсолютной идеи» [131. С. 18]. Таким образом, диалектика, разработанная Гегелем как универсальный метод познания, представляет собой рациональную, понятийную систему, «которая исторически развивается, порождая новые категориальные смыслы» [131. С. 18]. Категории, по Гегелю, есть сокращение бесконечных частных внешнего существования. Любую развивающуюся систему с позиций диалектики следует исследовать по ступеням восхождения знания в системе понятий — категорий, исследуя их взаимоотношения, взаимосвязи, взаимопереходы. Категориальная схема диалектики может быть представлена в таком виде. От соотношения категорий «единичное — всеобщее — особенное», из анализа которого появляется возможность рассмотрения отдельных сторон явления «в чистом виде, через отдельные абстрактные определения, т. е. через односторонность» [Минасян]», мы переходим к категориям качества и количества, единство которых есть мера. Однако единство есть не только тождество противоположных сторон, но и их различие. Как отмечает Гегель, «поскольку в мере качество и количество находятся в непосредственном единстве, их различие выступает в них таким же непосредственным образом» [31. С. 259]. Здесь следует особенно подчеркнуть, что существо диалектического метода Гегеля составляет принцип раздвоения единого на противоположности, тождество и различие которых составляет противоречие предмета. Кант перечисляет лишь четыре антиномии, однако Гегель подчеркивает, что «антиномия содержится не только в этих четырех заимствованных из космологии предметах, а во *всех* предметах всякого рода, во *всех* представлениях, понятиях и идеях... Истинное же и положительное значение антиномий заключается вообще в том, что все действительное содержит в себе противоположные определения и что, следовательно, познание и, точнее, постижение предмета в понятиях как раз и означает познание его как конкретного единства противоположных определений» [31. С. 167]. Согласно Гегелю, противоречие разрешается, и эта процедура есть порождение новых уровней организации, есть скачок, перерыв постепенности, становление новой меры. Познание противоречий в самой сущности предметов есть познание сущности. Сущность является. Явление есть сущность в своем существовании. Взаимопревращение противоположностей сущности и явления, их диалектический синтез дает представление о целом. Сущность в своем существовании есть единство формы и содержания. Взаимопревращение содержания и формы есть развитие, восхождение, обуславливающее переход содержания в существенное содержание — необходимость. Необходимость же есть случайность в своей действительности. Анализ взаимопревращения необходимости и случайности есть диалектика восхождения к причинности. А причинно-следственные связи в своем развитии модифицируются в действительность и возмож-

ность. Именно в таком ракурсе представлена материалистическая диалектика в части первой «Учение о материи» работы советского ученого А. М. Минасяна «Диалектика как логика» [93].

Автор настоящей монографии приносит извинения за столь черствый схематизм и неполноту изложения основных принципов диалектики, однако вряд ли представляется возможным рассмотреть такую живую и сложную понятийную систему, каковой является диалектическая логика, в рамках одного параграфа книги. Поэтому приходится ограничиваться, по существу, простым перечислением ее категорий, принципов и методов, отсылая заинтересовавшегося читателя к трудам классиков, к вышеупомянутой работе [93] и к другим обстоятельным, глубоким и серьезным исследованиям [1; 2; 75; 76; 63; 64; 158].

Следует особо отметить, что при анализе проблем естествознания в XX веке принципы диалектической логики были существенно развиты, так как возникла настоятельная необходимость рассмотрения физических парадоксов через призму диалектики взаимоотношения вышеупомянутых противоположностей, а также через призму диалектики дискретного и непрерывного, симметрии и асимметрии, с использованием принципа восхождения от абстрактного к конкретному, единства практического и логического критериев истины, принципа всесторонности рассмотрения и др. Можно присоединиться к пафосу высказывания профессора А. Н. Ерыгина: «О русской мысли отзываются таким образом — вся русская классика — это Гегель и диалектика. Правда, диалектика в России развивалась не в сугубо специальной логико-методологической форме, но в сфере реальной жизни, в том числе и в сфере науки. Во время похоронного звона, который звучал по диалектике в Европе, русская мысль упивалась диалектикой» [84. С. 44]. Справедливости ради следует заметить, что выдающиеся физики методологический анализ проблем, возникших с созданием теории относительности и квантовой физики, проводили, опираясь на диалектику. Среди них А. Эйнштейн, Н. Бор, М. Планк и многие другие. Сама интерпретация теории относительности или квантовой физики невозможна без диалектики. Представляется, что тенденции по элиминации диалектики как метода познания из науки вследствие ее, как полагают некоторые, фальсифицируемости, это — обкрадывание и торможение процесса научного поиска. Собственно, и попперовский энтузиазм по поводу фальсифицируемости диалектики с научной точки зрения представляется отсталым и объективно фальсифицируемым. Мы имеем в виду статью К. Поппера «Что такое диалектика?», которая в нашей стране была опубликована на страницах журнала «Вопросы философии» в 1995 году [114]. Не вдаваясь в подробный анализ попыток автора с формально-логических позиций дать критику основных положений диалектики, остановимся лишь на одном доводе автора. Так, на странице 132 читаем сле-

дующее: «Повнимательнее присмотримся к так называемым противоречивым фактам, то поймем, что все предложенные диалектиками примеры выявляют одно — а именно то, что наш мир обнаруживает иногда определенную структуру, которую можно описать, пожалуй, с помощью слова „полярность“. В качестве примера можно взять существование положительного и отрицательного электричества. Только склонностью к метафорам и неопределенности можно объяснить, скажем, утверждение, что положительное и отрицательное электричество противоречат друг другу. Примером настоящего противоречия могли бы послужить два предложения: „данное тело 1 ноября 1938 г. от 9 до 10 часов утра имело положительный заряд“ и аналогичное предложение о том же теле, которое в тот же отрезок времени *не* имело положительного заряда.

Эти два предложения действительно противоречат друг другу; соответственно, противоречивым был бы и тот факт, что некое тело, как целое, в одно и то же время заряжено и положительно, и отрицательно, а значит, в одно и то же время и притягивает, и не притягивает тела с отрицательным зарядом. Однако излишне говорить, что подобные противоречивые факты не существуют» [114. С. 132]. Однако современное развитие физики показывает, что подобные противоречивые факты существуют. Хорошо известно, что электромагнитное взаимодействие имеет калибровочную природу. А это означает, что электромагнитное поле возникает как способ для поддержания в природе локальной симметрии по отношению к сдвигам между двумя видами электрических зарядов. Так что в природе постоянно происходят взаимопревращения положительных и отрицательных электрических зарядов, но благодаря компенсирующему действию электромагнитного поля мы с вами этого не замечаем. Подробнее об этом будет сказано в следующей главе в связи с обсуждением калибровочного принципа. Пример, приведенный Поппером, только усиливает аргументы в пользу диалектики, подчеркивает ее методологическую востребованность в естествознании. Тем более что синергетика в некотором смысле представляет собой переоткрытие диалектики в естественных науках. И выявление точек пересечения этих методологий представляется задачей вполне естественной с точки зрения историка и методолога науки, ибо концентрируется вокруг вопроса о преемственности методов в познании или об их дополнительности.

§ 1.3. Синергетика

Синергетика, что в переводе с греческого *συνεργασία* означает содружество, возникла в науке как новационное направление, в первую очередь, благодаря выдающимся достижениям в области неравновесной тер-

модинамики, достигнутым И. Пригожиным. Им было показано, что в неравновесных открытых системах возможны диссипативные эффекты, приводящие, вопреки второму началу термодинамики, не к возрастанию энтропии и стремлению термодинамических систем к состоянию равновесного хаоса, а к «самопроизвольному» возникновению упорядоченных структур, к рождению порядка из хаоса.

Второе начало термодинамики, введя в науку необратимость, привело к непримиримому противоречию между обратимостью динамических траекторий и вероятностным статистическим описанием термодинамики. Известно, что именно Больцман ввел вероятностное описание в физику, низведя различие между обратимыми и необратимыми процессами, лежащее в основе второго начала термодинамики, с макроскопического на микроскопический уровень, дав микроскопическую интерпретацию энтропии. При этом в физическом мире сформировалось представление о необратимом протекании процессов в одном направлении — в направлении к молекулярному хаосу. Если эволюционная теория Дарвина — это путь от спонтанных флуктуаций видов, после чего наступает отбор и необратимая биологическая эволюция в сторону возникновения и возрастания сложности, то у Больцмана — необратимость приводит к забыванию «начальных условий» и разрушению порядка.

Так что со времен Дарвина идеи эволюции и самоорганизации целиком относились к живым организмам. Как отмечают авторы: «Идея эволюции неотразимо влекла к себе Больцмана. Его мечтой было стать Дарвином эволюции материи» [118. С. 306]. К сожалению, мечта Больцмана не сбылась; ему не удалось найти ключ к объединению динамики и второго начала термодинамики.

Достижения И. Пригожина, отмеченные Нобелевской премией, и его школы состоят во внесении принципа самоорганизации и саморазвития в область неживой материи. Им показано, что в больших неравновесных термодинамических системах могут образовываться или более ярко проявляться диссипативные структуры как проявления неустойчивости, значительно реагирующие на внешние условия в случае открытых систем и могущих приводить к росту упорядоченности и структурности системы. Пригожинской теория диссипативных структур плодотворно применена в химии и биологии. Это, в свою очередь, привлекло внимание ученых из различных областей науки к процессам самоорганизации. Г. Хакен ввел древнегреческое слово «синергетика» [150; 151] для нового направления в науке, изучающего процессы самоорганизации в различных областях естествознания, истории, социологии, политологии, психологии, теории управления и т. д.

Для выяснения принципов синергетики следует остановиться на основных понятиях, используемых этой методологией, — определить азбуку синергетики.

Под динамической системой понимается система, для которой определено понятие состояния и задан закон, который описывает эволюцию системы из начального состояния с течением времени. Для задания состояния системы необходимо:

- 1) определить совокупность физических величин, описывающих данное явление и характеризующих состояние системы, — параметры состояния системы;
- 2) выделить начальные условия рассматриваемой системы (зафиксировать значения параметров состояния в начальный момент времени);
- 3) применить законы движения, описывающие эволюцию системы.

Различают, как правило, два класса объектов: **жестко детерминированные**, для которых состояние однозначно определено, что дает возможность для точного прогноза поведения их в любой рассматриваемый момент времени; и **стохастические** объекты, описание которых возможно лишь статистическими методами. Как отмечает Ю. Л. Климонтович, в основу классификации между динамическим и стохастическим описаниями движений систем можно положить «свойство воспроизводимости движения по начальным условиям. Тогда по определению к динамическим относятся воспроизводимые, а к стохастическим — невозпроизводимые по начальным данным движения в нелинейных диссипативных системах» [124. С. 285]. Как правило, такое разделение является условным. Синергетика изучает **третий** класс объектов, которые являются детерминированными, однако в каких-то узких временных масштабах. Особенность эволюции их состоит в том, что малые неточности в определении начального состояния не сглаживаются, не нивелируются с течением времени, как это имеет место в жестко детерминированных динамических системах (здесь вообще считается, что начальные условия можно задать абсолютно точно), а нарастают со временем и на каких-то этапах система начинает развиваться не по «предначертанному пути», а иным способом. При этом система ведет себя хаотически, что требует ее статистического описания.

В динамической системе принято говорить о числе степеней свободы. Под числом степеней свободы понимается наименьшее число независимых величин, необходимых для однозначного определения состояния системы. Как правило, эти величины определяют число координат в пространстве состояний, называемом **фазовым пространством** системы. Таким образом, число переменных определяют размерность фазового пространства, остальные факторы в системе считаются постоянными. Изменению состояния системы во времени соответствует движение фазовой точки. Если задан закон эволюции, то, значит, положению фазовой точки в начальный момент времени ставится в соответствие положение ее в фазовом пространстве в любой последующий момент времени. Иными слова-

ми, закон эволюции математически описывается векторным полем в фазовом пространстве. Вектор, приложенный в точке фазового пространства, указывает скорость изменения состояния. Те точки, в которых вектор обращается в ноль, являются положениями равновесия. Уравнение движения может быть представлено с использованием оператора эволюции. Если оператор эволюции предусматривает линейные преобразования начального состояния, то он называется линейным. В случае **линейного** поведения системы движение происходит по одной и той же фазовой траектории, нигде не возникают точек разветвления (точек бифуркации). При этом линейный оператор обладает свойством суперпозиции. В линейных системах результатом совместного действия двух различных факторов является простое наложение, суперпозиция результатов каждого из них, взятого отдельно. Это означает, что данная система может быть представлена как совокупность подсистем, взаимодействие между которыми не принимается во внимание. Такие системы называются **интегрируемыми**. В общем случае можно сказать, что интегрируемы все системы, которые могут быть расцеплены на системы с одной степенью свободы. Интегрируемыми являются и некоторые нелинейные системы. В то же время существует класс консервативных систем, которые не являются интегрируемыми. Исключение взаимодействий подсистем из рассмотрения позволяет характеризовать линейные системы конечным, строго заданным числом степеней свободы. Это само по себе свидетельствует о существенной идеализации рассматриваемых систем, об абстрагировании от множества сторон явлений, пренебрежение которыми в ряде задач вполне оправдано и дает хорошие конкретные результаты. Именно эта процедура абстрагирования и позволяет описывать многие типы систем методами линейной математики. Между тем, сложность системы напрямую сопряжена с ее нелинейностью.

Динамическая система является **нелинейной**, если состояние системы нелинейным образом зависит от состояния ее на предшествующем шаге времени. Причиной этого может быть изменение величин, которые в случае линейных систем ведут себя как константы в уравнениях движения. Важное значение имеет при этом то обстоятельство, что любая сложная система обладает в реальности бесчисленным числом степеней свободы и всегда зависит от параметров, которые точно никогда не бывают известны. В синергетике в качестве одной из основных категорий выступает понятие **параметров порядка**. Дело в том, что в процессе эволюции системы из этого большого числа степеней свободы выделяются несколько, которые **подчиняют**, подстраивают под себя остальные степени свободы. Г. Хакен характеризует **принцип подчинения** как основной принцип синергетики.

Различают **консервативные** и **диссипативные** системы. Консервативные системы характеризуются неизменным во времени запасом энер-

гии. Динамические системы с изменяющимся во времени запасом энергии называются **неконсервативными**. Если энергия неконсервативных систем уменьшается с течением времени (вследствие трения или рассеяния энергии), то система называется **диссипативной**.

В случае **открытой** системы имеют место процессы обмена энергией, веществом или информацией с окружающей ее внешней средой. Соответственно, в случае **изолированной** системы эти процессы отсутствуют. Это означает, что в равновесии состояние изолированной системы может отличаться от состояния внешней среды. В случае открытых систем важно знание величин, ответственных за характер обмена, происходящего между системой и внешней средой, иными словами, необходимо выделить **параметры управления** обменом. Система будет находиться в равновесии, если ответственные за обмены характеристики будут иметь одинаковые значения и в системе, и во внешней среде. Это, так называемые, **равновесные** состояния. Что касается **неравновесного** состояния, то «такие состояния связаны с неисчезающими потоками между системой и внешней средой, а также с различием в некоторых переменных состояния. Эти различия могут иметь *переходный* характер в том смысле, что они могут мгновенно возникать благодаря некоторому начальному условию и постепенно релаксировать по мере установления равновесия между системой и внешней средой. Однако такие различия могут быть и постоянными, если создать или поддерживать соответствующие условия» [100. С. 69–70]. Г. Николис и И. Пригожин называют эти условия **ограничениями**. Иными словами, в открытых нелинейных системах небольшое изменение внешнего воздействия может привести к фазовым сдвигам, т. е. к качественному изменению в поведении системы, т. е. скачком перевести систему в другое состояние, в другой **аттрактор**. В. С. Анищенко отмечает, что «движения диссипативных систем целесообразно разделить на два класса: класс переходных, нестационарных движений, отвечающих релаксации от начального к предельному множеству состояний, и класс установившихся стационарных движений, фазовые траектории которых целиком принадлежат предельным множествам» [4. С. 83]. Аттракторы (от английского слова *to attract* — притягивать) представляют собой притягивающие множества в фазовом пространстве. Установившееся движение характеризуется принадлежностью фазовых траекторий предельному множеству, т. е. аттрактору. Равновесное поведение зависит от типа аттракторов. Различают аттракторы трех видов — фиксированная точка (равновесие), периодический аттрактор (предельный цикл — замкнутая фазовая траектория) и хаотический аттрактор, который называется также **странным аттрактором**. Странные аттракторы — это фазовые траектории, представляющие собой бесконечные, нигде не пересекающиеся линии (экспоненциально расходящиеся фазовые кривые). В течение длительного времени устойчивость

такого рода сохраняется: траектория не покидает замкнутой области и не притягивается к другим типам аттракторов. Здесь следует пояснить, что означает понятие устойчивости движения. Основная задача теории устойчивости состоит в том, чтобы разработать методы, которые позволяют судить об устойчивости частного решения той или иной системы уравнений, той или иной модели, не зная ее общего решения. В зависимости от поставленной в исследовании задачи понятие устойчивости имеет разный смысл. В связи с этим различают виды устойчивости: относительно возмущения начальных условий (устойчивость по Ляпунову), относительно постоянно действующих возмущений; структурную устойчивость; практическую устойчивость; устойчивость по Пуанкаре; устойчивость по Жуковскому; устойчивость по Пуассону; устойчивость по Лагранжу; орбитальную устойчивость; устойчивость по части переменных и т. д. Более подробное изложение теории устойчивости может найти, к примеру, в работе [144]. Следует различать невозмущенное и возмущенное движение. В случае задач на устойчивость по Ляпунову, движение, полученное в результате рассмотрения идеализированной системы, называется невозмущенным движением. Невозмущенное движение является устойчивым по Ляпунову, если достаточно малые возмущения сколь угодно мало отклоняют возмущенное движение от невозмущенного... Если же возмущенное движение заметно отклоняется от невозмущенного даже при сколь угодно малых возмущениях, то такое движение называется неустойчивым. Различные виды устойчивости решения $y = y_{(1)}(t)$ системы

$$\frac{dy}{dt} = f(t, y) \quad (\text{при } t \geq t_0)$$

можно определить с помощью того эффекта, который вызывают возмущения параметров (например, теория устойчивости по Ляпунову определяется эффектом от малого изменения начального значения). Различаются устойчивые решения по Ляпунову, асимптотически устойчивые в области $D_1(t_0)$ фазового пространства и асимптотически устойчивые в целом (вполне устойчивые). Если решение устойчиво по Ляпунову, то достаточно малые изменения начальных значений не могут привести к большим изменениям решения за какой угодно промежуток времени. Для асимптотически устойчивого решения эффект от конечного изменения начальных значений в указанных границах станет сколь угодно малым после того, как пройдет достаточно большой промежуток времени. Для решения асимптотически устойчивого в целом даже сколь угодно большое изменение начальных значений в конце концов вызовет пренебрежимый эффект. В этих определениях речь шла об устойчивости решений, а не об устойчивости систем. Для исследования устойчивого движения Ляпунов предложил два

метода, один из которых вошел в науку под названием «метод функций Ляпунова». На основании этого метода Ляпунов доказал теорему об устойчивости положения равновесия системы. Метод функций, разработанный Ляпуновым, дает возможность оценивать область притяжения системы при условии, что функция Ляпунова известна, а также позволяет оценить время переходных процессов системы. Как отмечают авторы [129], «метод функций Ляпунова предоставляет исследователю возможность наилучшим образом адаптировать его в каждой конкретной задаче путем выбора соответствующей (подходящей) функции Ляпунова. Это — одна из важнейших особенностей, благодаря которой он имеет столь широкое распространение и применяется специалистами различных областей науки от медицины и экономики до космоса и „термояда“» [129. С. 76–77]. Подчеркнем, что все решения устойчивой системы линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами асимптотически устойчивы в целом. В таких системах нет самоорганизации и сложных типов поведения. Иная картина возникает, если система непрерывно «зондируется» внутренними флуктуациями или внешними возмущениями» [100. С. 281]. В этом случае возникает проблема выяснения устойчивости в случае нелинейной задачи. Согласно теореме о линейной устойчивости, если тривиальное решение $y = 0$ линеаризованной задачи (достаточно рассматривать точки покоя $y = 0$, так как другие точки покоя в фазовом пространстве всегда можно перевести в начало координат с помощью простого преобразования координат) асимптотически устойчиво (неустойчиво), то $y = 0$ представляет собой асимптотически устойчивое (неустойчивое) решение нелинейной задачи. Важной процедурой является установление собственных значений системы. Изменения управляющего параметра может вызывать изменение собственных значений системы. При некотором критическом значении управляющего параметра система может перейти из устойчивого режима в неустойчивый.

В контексте рассматриваемых в настоящей монографии проблем особое внимание привлекает практическая устойчивость. Если возмущенное решение при допустимых начальных возмущениях (или допустимых внешних возмущениях) на заданном интервале времени отклоняется от невозмущенного решения в допустимых пределах, то такое решение называется практически устойчивым. Основываясь на современных представлениях об эволюции Вселенной, в ходе которой имели место фазовые переходы, связанные со спонтанным нарушением симметрии исходного вакуума, приводящие к перестройке ее структуры, нами разделяется точка зрения, высказанная А. Н. Филатовым, о том, что «Вселенная, по-видимому, теоретически неустойчива. Возможно, развитие идет от бифуркации к бифуркации, а между ними система практически устойчива» [144. С. 25]. А это на повестку дня выдвигает решение следующих вопросов, отмечен-

ных автором [144. С. 25]: «1) анализ практически допустимых начальных возмущений; 2) анализ практически допустимых последующих отклонений; 3) оценка временного интервала, за пределами которого эволюция системы не представляет интереса; 4) анализ максимально допустимых внешних воздействий». Вопросы эти имеют широкое поле пересечений с проблемами, обсуждаемыми в антропном принципе.

В процессе эволюции сложных нелинейных систем возможны критические точки, называемые бифуркацией. **Бифуркация** — это ситуация, когда изменение значения параметра переводит систему в состояние скачка, в частном случае, вызывает изменение типа аттрактора. Основная заслуга в разработке теории потери устойчивости состояний равновесия принадлежит работам А. Пуанкаре и А. А. Андронова. Значение **управляющего параметра** в момент бифуркации называется **точкой бифуркации**. Различают три вида бифуркации — неявную, катастрофу и взрыв. В случае неявной бифуркации аттрактор меняет тип. **Катастрофой** называется ситуация, когда возникает новый аттрактор, т. е. возникает в том месте, где он ранее не существовал, или же аттрактор исчезает вовсе. Это означает, что при изменении параметра порядка и подходе его к бифуркационному значению, положение равновесия, слившись с другим, неустойчивым положением равновесия, вовсе исчезает или же рождается пара других положений равновесия. Иными словами, система совершает скачок в совершенно другой режим. Ситуации, когда пространство состояний меняет размерность, получили название **взрывов**.

С помощью линейного анализа устойчивости удастся исследовать изменение поведения системы выше критического значения управляющего параметра, определить, существует ли новая ветвь решения, тянется ли она до бесконечности или претерпевает другую бифуркацию. Иными словами, синергетика дает достаточно развитый математический аппарат, с помощью которого удастся решить большой спектр проблем в разных областях знания.

Подчеркнем, что в фокусе внимания синергетики лежит изучение процессов, переводящих систему в состояние, соответствующее режиму странного аттрактора. Из вышесказанного понятно, что странный аттрактор представляет собой состояние системы, в котором проявляется согласованное, высоко коррелированное поведение огромного числа элементов. Возникает вопрос о возможности перевода системы в такое состояние, используя бифуркационное значение управляющих параметров. Именно перспектива управления сложными системами, перевода их в состояние самоорганизации, делает синергетику чрезвычайно привлекательной для научного сообщества, придает ей трансдисциплинарный статус. В самых разнообразных природных и общественно-социальных явлениях существует единство подходов к описанию переходов системы в состояние детерминированного

хаоса. При этом в каждом отдельном случае важен, в первую очередь, верный выбор из множества степеней свободы системы параметров порядка, которые определяют поведение не только растущих, но и затухающих конфигураций. Ибо сложность системы зависит не только от числа взаимодействующих переменных, но и от силы их взаимного влияния, т. е. от управляющих параметров. Возникает проблема оценки сложности системы. Здесь имеются разные подходы, в том числе сложность может быть оценена экспонентой Ляпунова или фрактальной размерностью.

Следует обратить внимание, что многие задачи на сложность удается решать, используя фрактальный подход [см., например, 142; 147]. Первый пример фракталов был приведен в XIX веке Вейерштрассом: он показал существование непрерывных функций, нигде не имеющих производных. Второе дыхание этот класс математических объектов получил с появлением в 1977 году работы Б. Мандельброта «Форма, случай и размерность». В этой работе вводится термин фрактал, что в переводе с английского *fractal* означает *состоящий из фрагментов*. Фракталы обладают масштабной инвариантностью. Некоторое время считалось, что они описывают объекты и системы дробной размерности. Например, дробная размерность линии возникает в том случае, когда эта линия, в пределе «почти сплошь» заполняет какую-то поверхность. В первом варианте Мандельброт дал следующее определение фрактала: «Фракталом называется множество, размерность Хаусдорфа—Безиковича которого строго больше его топологической размерности» [Цит. по: 142. С. 19]. Для гладких поверхностей размерность Хаусдорфа—Безиковича совпадает с топологической размерностью объектов, для фракталов же размерность Хаусдорфа—Безиковича обычно принимает дробные значения. Однако со временем выяснилось, что размерности некоторых фракталов имеют целую размерность Хаусдорфа—Безиковича. В связи с этим в 1987 году Мандельброт в частном сообщении предложил заменить свое предварительное определение следующим: «Фракталом называется структура, состоящая из частей, которые в каком-то смысле подобны целому» [Цит. по: 142. С. 19]. Основная заслуга Мандельброта состоит в том, что он создал неевклидову геометрию негладких, изъеденных ходами и отверстиями объектов. Заметим, что большинство объектов в природе таковы, тем не менее, математика основывается на моделях, использующих представления именно о сглаженных объектах. Фрактальная геометрия хорошо вписывается в клейновскую «Эрлангенскую программу» (см. подробнее главу 2), согласно которой геометрия занимается изучением свойств объектов, инвариантных относительно некоторых непрерывных преобразований. Фрактальная геометрия занимается изучением инвариантов групп самоаффинных преобразований, т. е. свойств, выражаемых степенными законами. Мандельброт указывает на необходимость прочного вхождения этого направления для анализа

разнообразных явлений в природе, отмечая, что «фрактальные множества... в некотором смысле должны стать правилом». Особенностью фракталов является то, что использование их для описания сложных нелинейных систем позволяет разглядеть тонкую структуру хаоса. Это является результатом учета самоаффинной структуры среды, благодаря чему удается избежать стирания мелких деталей процессов. Отметим важный результат, который может иметь значение для последующего анализа проблем, связанного с построением единой теории поля. Фрактальная размерность может быть больше, чем число наблюдаемых переменных, т. е. дает возможность для предсказания недостающих звеньев, участвующих в процессах самоорганизации. Новый результат состоит в том, что фрактальная размерность становится переменной в пространстве состояний фазовой траектории.

Итак, синергетика ставит вопрос о самоуправяемости и телеономическом способе поведения самоорганизующихся систем. При этом на передний план рассмотрения выдвигается требование учета взаимодействий отдельных подсистем системы, а также влияния на систему ее внешнего окружения. Это формирует основные требования к свойствам систем, для которых возможны синергетические режимы функционирования:

1. Система должна быть нелинейной.
2. Система должны быть открытой.
3. Система должна находиться по отношению к внешней среде в состоянии неравновесности и подвергаться действию флуктуаций, ибо именно флуктуации могут обеспечивать перевод одной фазы в другую.

Все перечисленные особенности рассматриваемых систем указывают на тесную связь синергетического описания с диалектическим методом анализа.

Подчеркнем, что основным законом диалектической логики выступает, как отмечалось в предыдущем параграфе, закон тождества и различия противоположностей, возведенный Гегелем в центральный пункт его философии. Вульгарное понимание этого закона концентрируется вокруг цифры два: мол, противоположностей всего две, а в синергетическом варианте речь идет о множестве степеней свободы. Суть закона диалектики, однако, в том, что единое раздваивается не на две единицы, а на две противоположные стороны, каждая из которых сама по себе может иметь сложную структуру со всеми признаками системности. Но это раздвоение целого на противоположные моменты становится центральным при исследовании целостности именно в силу того, что положение противоположностей не одинаково, одна из них играет господствующую определяющую роль, подчиняя себе другую противоположность. В рамках данной целостности это подчинение не есть тенденция к полному уничтоже-

нию и абсолютному подавлению одного другим, а одно удерживает другое, сохраняет его для себя, обеспечивая все тот же консенсус. Потому важной стороной этого закона является не абстрактное различие, а *тождество* противоположных сторон, содержащее в себе различие. Именно постоянный переход противоположностей друг в друга составляет основу самоорганизации, ведет к возникновению устойчивого состояния системы. Принцип подчинения в синергетике, как уже отмечалось, говорит о том, что отдельные части системы определяют или даже порождают параметры порядка, которые в свою очередь подчиняют себе другие части системы. При этом подчинение возможно только благодаря «нахождению консенсуса» между управляющими параметрами и подчиненными. Иными словами, речь идет о таких процессах, которые отрицают друг друга, но одновременно действуют в *одном* направлении, что в ряде случаев приводит к формированию более высокоорганизованных структур.

И Г. Хакен, говоря о том, что «подчинение и нахождение консенсуса являются двумя сторонами одной и той же монеты» [149. С. 38], выделяет именно суть закона тождества противоположностей. Этот закон диалектики, как правило, не вызывал особых возражений, однако центральный момент его, состоящий в том, что положение противоположностей не равнозначно, а одна из них является господствующей, оставался в тени.

Следует обратить внимание и на то, что в синергетике речь идет о строгом различии понятий «организация» и «самоорганизация». Согласно Г. Хакену, «организация в рамках синергетики выступает как достижение системой структурной устойчивости за счет работы, произведенной над системой внешней средой. Специфическое внешнее воздействие навязывает системе набор структур, вопреки вкладу в их формирование флуктуаций» [148. С. 28–29]. Автор особенно обращает внимание на неправомочность достаточно распространенного представления о том, что организация (то есть внешнее управление) может помочь избежать хаоса, в то время как самоорганизация ведет к хаосу, подчеркивая, что «самоорганизующуюся систему чаще всего приводят к хаосу именно контролируемые извне процессы» [152. С. 62], так что «небольшие изменения внешних условий могут привести к возникновению совершенно нового параметра порядка» [152. С. 100], а в ряде случаев для системы это может иметь «самые трагические последствия» [152. С. 98]. Как уже отмечалось, роль флуктуаций в синергетической методологии велика. С понятием флуктуаций тесно связана диалектика случайного и необходимого. Г. Хакен отмечает типичность для синергетики примеров взаимоотношений между случайностью и необходимостью [152. С. 73]. Определяя главенствующую роль флуктуаций в выборе паттернов движения системы, синергетика, по существу, возводит на диалектический уровень понимания категорию случайности. Ибо случайность здесь рассматривается не как то, что

может быть, а может и не быть, а выступает как необходимость в форме своего бытия. Именно это и есть объяснение того, что самоорганизация системе не может быть навязана извне. Ибо случайность выступает моментом необходимости, но какой именно момент необходимости в данных условиях выступает способом бытия, т. е. случайным, — это зависит от самой необходимости и ее условий и обстоятельств. Можно показать, что необходимость — это содержание, проявляющее себя в своей форме — случайности. По Гегелю, случайность — это единство возможности и действительности. «Случайное — это нечто действительное, определенное в то же время лишь как возможное» [33. С. 191]. Гегель рассматривает различные аспекты категории возможности, как-то: реальная возможность, абстрактная возможность, абстрактно-формальная возможность, и противоположность возможности — невозможность. Понятно, что воплотиться в действительность может только реальная возможность, при этом не все и не всегда реальные возможности превращаются в действительность. Однако, превращаясь в свое противоположное, возможность не исчезает, а содержится в действительности в снятом виде. Действительность, по Гегелю, есть слияние с самой собой как «выхождение» из той действительности, которая была реальной возможностью; следовательно, эта новая действительность возникает лишь из своего в-себе-бытия, из отрицания самой себя. Именно потому так важно рассмотрение *внутренней динамики* развития сложных систем. В синергетических процессах максимально актуализируется проблема, связанная с распространенным заблуждением о том, что возможность не имеет объективного бытия, а существует до действительности, как «будущее состояние». Отсюда и вывод о том, что внешние воздействия могут детерминировать нужное направление организации системы. Весь пафос акцента о роли флуктуаций на язык диалектики переводится как то, что реальная возможность есть момент действительности. Одна и та же действительность полионтична по отношению к своим возможностям, к целому набору реальных возможностей.

Все вышесказанное свидетельствует о том, что использование категориального аппарата диалектической логики в исследовании синергетических явлений представляется конструктивным и значительным.

Можно услышать вполне резонное возражение, состоящее в том, что если разрабатываемый аппарат синергетики обходится без диалектической основы, ибо опирается на математический фундамент, то, что и «огород рядить». Однако дело обстоит таким образом, что ученые, работающие в области синергетики, в том числе и пионеры синергетического метода, осознанно или неосознанно, так или иначе, используют в своих исследованиях категориальный аппарат диалектической логики. Это и понятно. Ибо они выросли на почве европейской цивилизации, которая своими корнями уходит в древнегреческую науку, основное зерно которой — диа-

лектика, пусть наивная и стихийная. И отвечая на вопросы современной науки, ученые все равно апеллируют к тем проблемам, которые были поставлены на заре человеческой культуры и оставались в центре внимания всего дальнейшего хода развития науки. Соответственно, они формировали содержание научного стиля мышления и его категориальный язык.

Другое возражение состоит в том, что если диалектика — это метод познания, который действительно способствует отражению реальных процессов в природе и обществе, то простым исключением из учебных программ, от него все равно не отделаешься. Он будет проявляться то здесь, то там. С этим нельзя не согласиться. На этом «пустом месте» все равно появится то же, но, возможно, под другим названием. Представляется, что как раз на этом «пустом месте» (спасибо ученым в области естественных наук) и появилась синергетика. Уж слишком долго естествознанию приходилось ждать со своими «неисторическими» объектами подтверждения справедливости диалектической методологии. А теперь уже дело философов, вместо того, чтобы «переоткрывать велосипед», выявить, в чем синергетическая методология опосредована прежним философским опытом, а в чем — сугубо ее специфика. Автор настоящей работе присоединяется к аргументам, высказанным Д. С. Чернавским: «В неживой природе устойчивые процессы, в том числе, и колебательные, подчиняются формальной логике... Неустойчивые процессы в неживой природе тоже бывают и играют большую роль. Именно для их описания была создана теория динамического хаоса. Фактически эта теория играет роль звена, соединяющего формальную логику с диалектической».

Таким образом, области применимости формальной и диалектической логики сейчас уже определены. Сейчас сторонник диалектического мышления может ответить любому математику на его каверзный вопрос о том, когда наступит „синтез“. Ответ прост: постройте математическую модель процесса и сами увидите, когда именно тезис перейдет в антитезис и когда наступит синтез... Поэтому, подводя итог, можно сказать, что современная синергетика является математической основой диалектического материализма» [125. С. 55].

Потому и философский анализ новейших результатов физики элементарных частиц и космологии в настоящем исследовании проводится в тесном переплетении синергетической методологии и диалектической логики.

Глава 2

На пути построения единой теории поля

Можно выделить четыре основные физические идеи, лежащие в основе построения единой теории поля: калибровочный принцип, новые представления о структуре физического вакуума и о спонтанном нарушении его симметрии, современный взгляд на классификацию элементарных частиц; новая физическая модель, где на смену точечным частицам приходит представление о струнах. Каждая из этих идей последовательно рассмотрены в соответствующих параграфах настоящей монографии.

§ 2.1. Калибровочный принцип

Все известные в настоящее время взаимодействия — сильное, слабое, гравитационное и электромагнитное — имеют калибровочную природу, что и послужило основанием для попытки объединения их в единую теорию. Калибровочный подход к описанию всех взаимодействий в качестве основной методологической установки выдвигает проблему описания взаимодействий на языке диалектики симметрии и асимметрии. Остановимся на этом подробнее.

В 1872 году немецким математиком Феликсом Клейном была выдвинута «Эрлангенская программа», в которой выражалась идея систематического применения групп симметрий к изучению конкретных геометрических объектов. Различные геометрии были интерпретированы как теории инвариантов определенных групп преобразований, соответствующих этим геометриям. Таким образом, все разнообразие геометрических систем удалось понять с единой — теоретико-инвариантной точки зрения. С открытием теории относительности теоретико-инвариантный подход проникает в физику и привлекает более серьезное внимание теоретиков в использовании его.

В классической физике инвариантными, независимыми от выбора системы координат, считали пространственные и временные интервалы. Новая кинематика, предложенная Эйнштейном в специальной теории относительности, развитая далее в работах Г. Минковского, указывает на то, что по отдельности расстояния между двумя событиями в пространстве r и во времени t не остаются неизменными при переходе от одной инерциальной системы координат к другой, а ведут себя как компоненты четы-

рехмерного вектора в четырехмерном псевдоэвклидовом пространстве-времени. Неизменной, инвариантной остается лишь величина S , названная «мировым интервалом», или «лоренц-инвариантом».

$$dS^2 = c^2 dt^2 - (dx^2 + dy^2 + dz^2).$$

Или, введя обозначения

$$x^\mu = (x^0, x^1, x^2, x^3) = (ct, x, y, z),$$

$$g_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} 1 & & & \\ & -1 & & \\ & & -1 & \\ & & & -1 \end{pmatrix},$$

$$dS^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu.$$

dS рассматривается как четырехмерное расстояние между двумя мировыми точками. Таким образом, в физику вводится понятие четырехмерного континуума, при этом подчеркивается несуществование объективного расщепления четырехмерного континуума на трехмерно-пространственный и одномерно-временной континуумы.

Известные преобразования Лоренца с введением мирового интервала приобретают смысл поворотов в четырехмерном пространстве-времени. Физические законы, пространственно-временной интервал оказываются инвариантами при четырехмерных вращениях. Таким образом, в специальной теории относительности работает глобальная лоренц-инвариантность, и создается новый взгляд на характер описания физических законов, а именно, «наисовершеннейшим выражением» физических законов считается их инвариантное выражение.

Именно в этом направлении и действовал А. Эйнштейн при создании общей теории относительности. Основным мотивом создания общей теории относительности явилась попытка расширить принцип относительности на неинерциальные системы отсчета. Эйнштейн вскоре после создания специальной теории относительности решил, что сделан «только первый шаг на пути дальнейшего развития», ибо специальная теория относительности не дает полного удовлетворения с теоретической точки зрения, потому что сформулированный принцип относительности отдает предпочтение равномерному движению» [Цит. по: 105. С. 231]. И в 1911 году им формулируется принцип эквивалентности, согласно которому в бесконечно малых областях действие тяготения можно заменить ускорением. Попытки включить тяготение в специальную теорию относительности наталкивались на серьезные трудности, связанные в частности, с тем, что в этом случае не

работает глобальная лоренц-инвариантность. Будучи убежденным приверженцем принципа эквивалентности, Эйнштейн приходит к выводу о локальной лоренцевой инвариантности. Иными словами, в общей теории относительности принцип эквивалентности справедлив лишь локально. Другая проблема ставшая на пути создания общей теории относительности, связана с законами сохранения энергии-импульса. Решение ее привело Эйнштейна, в конечном итоге, к выводу о нелинейности гравитационного поля. А это требовало пересмотра псевдоэвклидовой геометрии Минковского в специальной теории относительности и использования новой геометрии, в которой мировой интервал оставался бы инвариантным при более общих преобразованиях. Этой геометрией оказалась геометрия Римана.

В методологическом плане дальнейшего развития физики чрезвычайно важным шагом является факт переосмысления Эйнштейном акцентов в постановке проблемы в процессе создания им общей теории относительности, а именно его вывод о том, что главная задача состоит не во включении тяготения в специальную теорию относительности, а в том как воспользоваться тяготением для отказа от требования инвариантности применительно к равномерному движению и заменить его **требованием инвариантности к любым типам движения**. А отсюда уже один шаг к принципу, провозглашенному Эйнштейном и положенному в основу калибровочных теорий, согласно которому «**взаимодействия диктуются симметрией**».

Не останавливаясь подробно на результатах общей теории относительности, что будет сделано ниже, подчеркнем важный методологический результат этой теории. Общая теория относительности в отличие от специальной теории относительности является динамической теорией, в ней новая кинематика тесно переплетается с новой динамикой. И если кинематическим нововведением в общую теорию относительности следует рассматривать то, что лоренц-инвариантность в ней «не является более глобальным свойством, а продолжает играть центральную роль как локальная инвариантность» [105. С. 255], то динамическим нововведением является тот факт, что гравитационное поле здесь не постулируется, а выводится как результат инвариантности относительно группы локальных преобразований. Именно в общей теории относительности возникает представление о таком калибровочном подходе.

Считается, что выражение «калибровочное преобразование» вошло в физику из жаргона железнодорожников. И действительно, английское слово *regage* означает и калибровку, и ширину железнодорожной колеи. Первоначально слово *regage* употреблялось в значении переходить с узкой колеи на широкую [105. С. 326].

Если предположить, что величина dS есть некая длина, то эта длина подвергается перекалибровке. Под калибровкой, по аналогии с железно-

дорожной терминологией, понимается изменение отсчета уровня или масштаба. В специальной теории относительности законы физики не изменяются относительно переноса (или сдвига) при калибровке расстояния, т. е. траектории движения остаются прямолинейными, пространственный сдвиг оказывается одинаковым у всех точек траектории. Иначе говоря, здесь работают глобальные калибровочные преобразования.

При введении же гравитационного поля, как уже упоминалась, законы физики оказываются инвариантными лишь относительно локальных калибровочных преобразований, т. е. здесь должна существовать возможность свободного изменения масштаба от одной точки пространства к другой, что означает кривизну траектории. Условие выполнения инвариантности физических законов относительно локальных преобразований требует введения гравитационного поля, роль которого состоит в компенсации эффектов, вызванных калибровкой от точки к точке. Таким образом, в общей теории относительности выполняется принцип, согласно которому **требование инвариантности порождает определенный тип взаимодействия**. А это уже принципиально новый подход в физике. Как пишет Г. Кейн: «Мы существенно отходим от исторической традиции, долгое время господствующей в квантовой теории поля, когда заранее давалась форма взаимодействия, которая была угадана некими умными физиками. Теории, в которых форма взаимодействия не постулируется, а вводится (как результат инвариантности относительно групп определенных локальных преобразований), называются „калибровочными“» [72. С. 49].

Случилось так, что развитие «эрлангенского подхода» в физике было продолжено математиками. Среди них Клейн, Калуца, Вейль и другие. Развитие это происходило в направлении создания единой теории поля. Первая попытка, горячо поддержанная Эйнштейном, была предпринята Германом Вейлем, выдвинувшим идею связать известные к тому времени два типа взаимодействия — гравитационное и электромагнитное, в единую теорию. А поскольку в общей теории относительности гравитационное поле рассматривается как проявление искривления четырехмерного пространства-времени, Г. Вейль сделал попытку связать электромагнетизм также с некоторой формой геометрической инвариантности, представляющей собой инвариантность по отношению к произвольным расширениям и сжатиям пространства. Тем самым, именно Вейлем и был введен термин масштабной — калибровочной — инвариантности. Однако, как оказалось, электромагнетизм не описывался этой теорией. В. А. Фок [175] и Ф. Лондон [190] воспользовались идеей Вейля с тем лишь изменением, что была рассмотрена не масштабная инвариантность, а фазовая инвариантность волновой функции. Хотя в первоначальном смысле перекалибровки длин и времен теория Вейля и была опровергнута, тем не менее, термин «локальные калибровочные преобразования» сохранили свою жизнь в физике. В конце 1920-х годов Г. Вейль

ввел современный вариант этих преобразований, ему удалось найти группу преобразований, из которых следует вид электромагнитного взаимодействия уже после построения квантовой механики. Результаты, полученные в квантовой механике, в частности в работе Фока [175] явились толчком для определения Вейлем искомым динамическим преобразованиям. Это оказались фазовые преобразования волновых функций в квантовой механике.

Новый этап в развитии теории калибровочных полей начался в 1954 году работой Янга и Миллса, применивших понятие калибровочного поля к ядерным силам. Это привело к переосмыслению существования калибровочной инвариантности в электродинамике. Калибровка в электродинамике была хорошо известна к этому времени. Ибо, понятно, что любые два потенциала, приводящие к одинаковым характеристикам электромагнитного поля E и B с физической точки зрения эквивалентны. Значит, имеется некоторый произвол в выборе потенциала. Напомним, что B и E выражаются через векторный A и скалярный потенциалы следующим образом:

$$\vec{B} = \nabla \times \vec{A}; \quad \vec{E} = -\nabla \varphi - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}.$$

Векторный потенциал A определен с точностью до градиента произвольной функции:

$$\vec{A}' = \vec{A} + \text{grad} f,$$

а скалярный потенциал — с точностью до производной по времени от той же функции

$$\varphi' = \varphi - \frac{\partial f}{\partial t}.$$

Или, вводя 4-вектор для потенциалов

$$A^\mu = (\varphi, \vec{A}) = (A^0, \vec{A}),$$

можно утверждать, что значения E и B не меняют своего вида относительно преобразований:

$$A^\mu \rightarrow A'^\mu - \partial^\mu f,$$

которые и являются калибровочными преобразованиями. В частности один из возможных вариантов, наиболее распространенных в теории, состоит в выборе $\varphi = 0$. Эта процедура получила название «кулоновской калибровки». Однако калибровочная инвариантность в электродинамике до недавних времен рассматривалась как «любопытный курьез». Саму классическую электродинамику редко рассматривали как калибровочную теорию. И лишь в начале 60-х годов прошлого века приоритетным стано-

вится рассмотрение электромагнитного поля, как способа поддержания локальной калибровочной симметрии.

Калибровочная инвариантность в квантовой теории проявляется несколько иначе, чем в классической электродинамике. Но именно здесь наиболее четко высвечивается главный методологический аспект этого принципа: дается ответ на вопрос: «Почему и зачем в природе существуют именно такие взаимодействия?»

Оказывается, что существование определенных типов взаимодействий, скажем, известных в настоящее время четырех — сильного, электромагнитного, слабого и гравитационного, с необходимостью должно реализоваться в нашем мире в качестве способа, которым в природе должно компенсироваться локальное калибровочное преобразование. Воистину «взаимодействие диктуется симметрией!».

Покажем вкратце, как этот вывод следует из математического аппарата квантовой теории. Известно, что поведение микрообъектов в квантовой теории описывается с помощью волновой функции, квадрат модуля которой определяет все наблюдаемые в квантовой теории величины. А это позволяет потребовать инвариантность уравнений теории относительно следующего преобразования:

$$\Psi \rightarrow \Psi' = e^{-ia}\Psi,$$

где a — некоторое постоянное число. Очевидно, что

$$|\Psi|^2 = |\Psi'|^2.$$

Таким образом, фазу волновой функции можно выбирать произвольно. Преобразование

$$\Psi \rightarrow \Psi'$$

является глобальным калибровочным преобразованием. Естественно предположить, что квантовая теория должна быть инвариантной относительно более широкого класса преобразований, в котором фаза функции Ψ меняется от точки к точке; иными словами, постоянный множитель a заменяется переменной величиной $a(x, t)$. А это допускает переход от глобальных калибровочных преобразований к локальным:

$$\Psi(\vec{x}, t) \rightarrow \Psi'(\vec{x}, t) = e^{-a(\vec{x}, t)}\Psi(\vec{x}, t).$$

В квантовой механике был получен интересный результат: уравнение Шредингера оказалось неинвариантным относительно приведенных выше локальных калибровочных преобразований. Если оставаться приверженцем симметричного подхода в физике и признать справедливость локаль-

ных калибровочных преобразований, то инвариантность уравнений Шредингера относительно них может быть достигнута лишь одним способом, который, однако, не вызовет у нас затруднений или разочарований, а, напротив, послужит доказательством того, что в теории избран верный путь. Ибо способ этот таков: локальная калибровочная инвариантность требует введения дополнительного поля. В квантовой теории поле понимается как среда постоянного рождения и уничтожения частиц. Введение дополнительного поля означает введение квантов этого поля, посредством которых осуществляются эти процессы. Оказалась, что требуемое локальной калибровочной инвариантностью поле описывается векторной частицей со спином 1, совпадающей (в точности с экспериментальными данными) с фотоном. Итак, столь необходимое дополнительное поле оказалось хорошо известным — электромагнитным полем. Электромагнитное взаимодействие сыграло важную роль в методологии в современной физике, указав на вторичность, производность физических взаимодействий, как способов, компенсирующих локальные калибровочные преобразования в природе, обеспечивая инвариантность физических законов, т. е. появилось представление о том, что существование целого ряда локальных калибровочных симметрий в природе с необходимостью обуславливает действительность существования соответствующего числа компенсирующих полей. А установленная позже взаимосвязь калибровочных симметрий с перенормируемостью в квантовой электродинамике укрепила точку зрения, что трудности «квантового описания других взаимодействий, по-видимому, связаны с тем, что нам не удалось обнаружить полный набор скрытых в них симметрий» [50. С. 127]. На математическом языке, введение электромагнитного поля в уравнение Шредингера означает замену обычных производных ковариантными производными, что автоматически делает уравнение Шредингера инвариантным относительно локальных калибровочных преобразований.

Ковариантные производные были введены в общую теорию относительности. Для обеспечения инвариантности изменений физических величин при переходе из одной системы отсчета в другую с учетом искривления пространства обычные производные заменялись ковариантными: из обычной производной вычитается величина, зависящая от кривизны пространства (от значений символов Кристоффеля, входящих в уравнение для кривизны) и получают ковариантную производную. В евклидовом пространстве коэффициенты Кристоффеля обращаются в ноль. В римановом пространстве они приобретают различные значения в зависимости от кривизны пространства. С помощью ковариантной производной изменение физической величины в терминах обычного дифференцирования дополняется «поправочными изменениями» — следствием кривизны пространства.

Стремление выделить общую основу для записи, как уравнений движений, так и сохраняющихся во времени величин, соответствующих свой-

ствам инвариантности относительно тех или иных непрерывных преобразований, привело физиков к формализму, основывающемуся на использовании хорошо известной в механике функции Лагранжа, и так называемому лагранжеву формализму. Исходным пунктом лагранжева формализма является действие системы A , представляющее интеграл по времени

$$A = \int L dt,$$

где L — лагранжиан.

Уравнения движения могут быть получены с помощью принципа наименьшего действия, согласно которому реальное движение происходит так, что действие оказывается экстремальным, т. е. его вариация обращается в ноль:

$$\delta A = 0.$$

Так, при минимизации действия в классической физике получают уравнения Эйлера—Лагранжа, связь которых с законами Ньютона хорошо известна. Уравнения Эйлера—Лагранжа для лагранжиана классического электромагнитного поля оказываются уравнениями Максвелла.

Лагранжиан, таким образом, обладает следующими особенностями: во-первых, задает динамику частиц, во-вторых, является скаляром в любом рассматриваемом пространстве, инвариантным относительно его преобразований, так как инвариантным является действие. Эти особенности привели к целесообразности формулирования физических теорий на языке лагранжианов. Для обеспечения инвариантности относительно локальных калибровочных преобразований в различных пространствах производят замену обычных производных ∂^μ ковариантными D^μ путем добавления различных слагаемых, которые позволяют построить отдельные лагранжианы, инвариантные одновременно или по отдельности относительно калибровочных преобразований во всех соответствующих внутренних пространствах частиц. Добавляя к ∂^μ в случае электромагнитного поля слагаемое $A^\mu (D^\mu = \partial^\mu - igA^\mu)$, где g — некоторый заряд, получаем калибровочно-инвариантную теорию. Впечатляющим оказалось то обстоятельство, что квантовая электродинамика выводима из двух принципов — принципов симметрии и требования перенормируемости. Причем, как оказалось, единственным лоренц-инвариантом и калибровочно-инвариантным перенормируемым лагранжианом фотонов и электронов, является дираковский лагранжиан квантовой электродинамики, полученный первоначально Дираком из других соображений. И величина заряда g оказывается в точности равной заряду электрона e . Из примера с электромагнитным полем ясно, что каждая добавка-слагаемое соответствует определенному типу взаимодействия. Иными словами, взаимодействие играет определенную историческую миссию в нашей

действительности — обеспечивает локальную калибровочную инвариантность лагранжиана.

Несколько слов следует сказать о понятии «внутреннее пространство», используемом в вышеприведенных рассуждениях. Классическая физика описывала движение частиц в пространстве и времени. Соответственно, требование инвариантности физических законов относилось в первую очередь к рассмотрению симметрий пространства и времени. Однако понятие симметрии было расширено в более абстрактные понятия, которые стало принято считать векторами в некоторых абстрактных «внутренних» пространствах, не связанных с координатами.

Использование лагранжева формализма, как отмечалось, проявило глубокую связь между различными симметриями и законами сохранения, что является содержанием теоремы, доказанной в 1918 году Эммой Нетер. Теорема Нетер, доказанная ею во время участия в работе геттингенской группы по проблемам общей теории относительности как бы побочно, стала важнейшим инструментом теоретической физики, утвердившей особую роль принципов симметрии как методологической установки построения физической теории. Согласно этой теореме, если система инвариантна относительно некоторого непрерывного преобразования, то для нее существует определенная сохраняющаяся величина.

До определенного времени в физике проводилось четкое разделение на внешние и внутренние симметрии. Внешние симметрии — это симметрии физических объектов в реальном пространстве-времени, называемые также пространственно-временными или геометрическими. Законы сохранения энергии, импульса и момента импульса являются следствиями внешних, пространственно-временных симметрий. Так временная трансляционная симметрия, существующая в природе, приводит к закону сохранения энергии; трансляционная инвариантность в пространстве — к закону сохранения импульса, а симметрия относительно поворотов — к закону сохранения момента импульса. Эти законы сохранения характерны для всех частиц, являются общими, выполняющимися во всех взаимодействиях.

Следует сразу отметить, что те или иные симметрии всегда отражают свойства ненаблюдаемости характеристик некоторых физических объектов. Так, симметрия относительно сдвигов в пространстве-времени свидетельствует о ненаблюдаемости абсолютного времени и абсолютных пространственных координат. Симметрия относительно пространственных поворотов — об изотропности пространства, а упоминаемая выше лоренц-инвариантность — симметрия относительно поворотов в четырехмерном пространстве-времени — об эквивалентности систем координат, движущихся друг относительно друга с постоянными скоростями.

К классу внутренних симметрий относят симметрии относительно непрерывных преобразований во внутренних пространствах, не имеющих,

как считалось до недавнего времени, под собой физической основы, связывающих их со структурой пространства-времени. К классу внутренних симметрий относятся глобальная калибровочная симметрия для электромагнитного поля, следствием которой является закон сохранения электрического заряда; изотопическая симметрия, сохраняющая изотопический спин, равный 1; унитарная симметрия, киральная симметрия и многие другие. С различными видами внутренних симметрий мы будем более подробно встречаться в следующих параграфах главы. Здесь же выделим два основных принципа, имеющих важное конструктивное значение при построении единой теории поля.

Первый из них связан с тем, что факт нарушения некоторых видов симметрий привел к необходимости рассмотрения принципов симметрии через призму диалектики взаимоотношения их с асимметрией явлений. Справедливости ради надо отметить, что вопрос о симметриях получил глубокий анализ в философской литературе особенно в связи с упоминаемой выше теоремой Э. Нетер [28; 29; 30]. В большинстве работ как раз обращается внимание на необходимость рассмотрения категорий симметрия-асимметрия в их диалектическом тождестве. В § 3 настоящей главы будет уделено большее внимание проблеме спонтанного нарушения симметрии, введенного Вайнбергом и Саламом при создании ими единой теории электромагнитного и слабого взаимодействия. Надо сказать, что в философских трудах имеют место различные точки зрения по определению категорий симметрии и асимметрии. Спонтанное нарушение симметрии в используемых в философской литературе терминах должно рассматриваться как «неполная, расстроенная или относительная симметрия». В физике нарушение симметрии называется спонтанным в том случае, если лагранжиан взаимодействий инвариантен относительно рассматриваемой группы преобразований, а вакуум неинвариантен. Спонтанному нарушению симметрии соответствует, как еще говорят, скрытая симметрия, которая может не проявляться в данном вакууме. Неспонтанному нарушению симметрии соответствует неинвариантность вакуума при неинвариантности лагранжиана. Неспонтанное нарушение симметрии соответствует категории несимметрии. Из последующего анализа можно будет убедиться, что в одних условиях симметрия является господствующей противоположностью, содержащей различие, асимметрию в качестве подчиненной противоположности, как возможность. С изменениями макроусловий эти различия могут играть ведущую роль, что и происходит в случае спонтанного нарушения симметрии. Лагранжиан взаимодействий при этом не изменяется, однако симметрия оказывается скрытой из-за изменения состояния вакуума. Таким образом, мы имеем не абстрактную асимметрию, а асимметрию в качестве одной из сторон единства симметрии и асимметрии, имеем ситуацию, когда симметрия возникает на основе асимметрии, а асимметрия заждется на симметрии.

Второй момент связан с тем, что в современной физической теории прослеживается возможность сведения всех внутренних симметрий к геометрическим, пространственно-временным симметриям. Тот факт, что все внутренние симметрии имеют калибровочную природу, является основанием для придания им геометрической интерпретации. Математический аппарат, которым пользуются физики при изучении симметрии, называется теорией групп. В приложениях теории групп к исследованию симметрии интерес представляет не структура групп самих по себе, а те превращения и изменения, которые индуцируются в тех или иных объектах элементами групп. Объектами же являются либо координаты пространства-времени (в случае приложения теории групп к внешним симметриям), либо некоторые функции координат (в случае приложения теории групп к внутренним симметриям). И в том, и в другом случае объекты рассматриваются как векторы в некотором пространстве: в первом случае, как векторы в реальном пространстве-времени, во-втором, — как векторы во внутреннем пространстве. Отметим, что все четыре типа взаимодействия и объединения их описываются калибровочными симметриями, являющимися различными представлениями групп Ли. Так, электромагнитное взаимодействие описывается абелевой калибровочной симметрией $U(1)$, симметрия изотопического спина полей Янга—Миллса (слабое взаимодействие) — неабелевой калибровочной симметрией $SU(2)$, группа $SU(2) \times U(1)$ описывает симметрию электрослабого взаимодействия, группа $SU(3)$ — цветовую симметрию сильных взаимодействий в квантовой хромодинамике; в теории рассматриваются всевозможные группы калибровочных симметрий, представляющих собой различные модели Великого объединения — единой теории электрослабого и сильного взаимодействия, это $SU(5)$, $SU(10)$, E_6 , E_7 и другие, а также различные модели суперсимметрии, включающие гравитационное взаимодействие.

Таким образом, по остроумному замечанию Г. т'Хоофта, «хотя физики все еще не могут найти единственного ключа ко всем известным замкам, по крайней мере, сейчас известно, что все необходимые ключи могут быть сделаны из одной болванки. Теории в этом единственном привилегированном классе официально названы как неабелевы теории с локальной симметрией» [155. С. 479].

Пристальное внимание физиков к калибровочным симметриям довело их математическую разработку до такого уровня, что стала очевидной возможность выражения их в виде связностей в расслоенных пространствах-структурах, хорошо известных в дифференциальной геометрии. Здесь мы несколько отклонимся от предмета исследования, отметив, что создание общей теории относительности оказалось возможным благодаря существованию к этому времени мощного математического аппарата — тензорного исчисления и дифференциальной геометрии, создаваемых учеными для решения собственно конкретных математиче-

ских задач. Общая теория относительности, в свою очередь, оказала огромное влияние, явилась мощным стимулом для разработки и выдвижения новых идей в математике. Так, в 1917 году Леви-Чивитой вводится понятие параллельного переноса, которое явилось предпосылкой изучения расслоенных пространств. Сами расслоенные пространства вводились в теорию с целью упрощения анализа кривизны в абстрактных пространствах произвольного числа измерений. Мы попытаемся дать некоторое представление об этих понятиях, отсылая интересующихся читателей для более подробного ознакомления к работам [10; 46].

Теория связностей так же является дитем общей теории относительности. Свое развитие она получает в работах Г. Гессенберга, Г. Вейля, Леви-Чивиты, Схоутена, Стройка, Картана (кстати, именно А. Картаном разрабатывалась теория расслоенных пространств), пытавшихся использовать геометрические идеи для более глубокой разработки общей теории относительности. Этот же подход использовался Вейлем, Эддингтоном и Эйнштейном при создании единой теории поля, объединяющей гравитацию и электромагнетизм.

Однако после ряда неудачных попыток, идея объединения стала казаться нелепой, не имеющей серьезного физического смысла. Физики постепенно отходили от этой проблематики, предмет исследования все более смещался в сторону проблем математических. Рею Утияма так вспоминает сложившуюся в тот период в среде физиков психологическую атмосферу: «Когда я окончил университет и позже, на заседаниях японского физического общества сообщения по общей теории относительности и единой теории поля всегда сдвигали в самое начало утренней программы. Это объяснялось „родительскими чувствами“ председательствующего, который заботился о том, чтобы не желающие слушать такие доклады не страдали, если они опоздают на заседание» [140. С. 110].

Однако к 60-м годам прошлого столетия в особенности благодаря открытию Янга и Миллса интерес к созданию единой теории, включающей в себя уже четыре типа взаимодействий — гравитационное, электромагнитное, сильное и слабое, — вновь стал доминирующим в теоретической физике.

Итак, калибровочные теории — это особый класс квантовой теории поля, в основу которых кладется требование выполнения инвариантности физических законов относительно определенного класса преобразований. Сам же принцип инвариантности с необходимостью требует существования определенного взаимодействия между частицами. Взаимодействия, соответствующие калибровочной симметрии, характерны тем, что их величина прямо пропорциональна заряду. Причем заряд одновременно определяет и величину взаимодействия, и величину заряда элементарной частицы.

В настоящее время в распоряжении физиков имеется мощный математический аппарат для изучения топологических аспектов калибровоч-

ных полей, а именно теория расслоения пространства и связностей. Все квантовые калибровочные поля интерпретируются как связности в расслоениях над пространством-временем. Слой в этом расслоении представляет собой множество преобразований внутренних симметрий частиц, взаимодействующих посредством калибровочных полей. Иными словами, калибровочный принцип позволяет свести действие поля к расслоению пространства, к проявлению сложной топологии его, сам же принцип рассматривается как закон перехода, преобразования в нем. Надо отметить, что и пространство Минковского — псевдоевклидово пространство в специальной теории относительности, и пространство Римана в общей теории относительности, характеризуются простейшей топологией пространства-времени. Можно сказать, что общая теория относительности, определяя геометрию пространства-времени, оставляет в стороне вопрос о его топологии. Топологические аспекты теории калибровочных полей имеют важное значение, ибо позволяют применить к физической теории единый геометрический подход, позволяют свести внутренние симметрии к внешним. Анализ проблемы геометризации физики, философский аспект этой проблемы будет подробно рассмотрен в § 3 главы 3. По всей видимости, создание единой теории возможно только на базе геометризации физики.

§ 2.2. Современные представления о структуре материи. Классификация элементарных частиц

В 1954 году Янг и Миллс показали, как можно, используя калибровочный принцип, построить $SU(2)$ -калибровочную теорию сильных взаимодействий [186]. Известно, что сильные взаимодействующие частицы нейтрон n и протон p имеют приблизительно равные массы, различающиеся примерно на 0,1 %. Это обстоятельство, а также тот факт, что сильные взаимодействия не зависят от величины электрического заряда (известно, что протон является электрически заряженной частицей, а нейтрон — нейтральный) послужили основанием для рассмотрения протона и нейтрона в качестве двух различных состояний одной частицы-нуклона. Два различных состояния нуклона сопоставляются с двумя различными направлениями нуклона во внутреннем пространстве сильного изоспина. Янг и Миллс предположили обязательность инвариантности лагранжиана относительно вращений во внутреннем пространстве сильного изоспина. Как показывает современная теория сильных взаимодействий, «сильный изоспин как пример хорошей симметрии представляет собой довольно случайное свойство, не связанное с фундаментальными свойствами природы» [72. С. 60], однако именно теория Янга—Миллса способствовала второму рождению калибровочного принципа в физике. Вайнберг и Салам позаимствовали идею изотопической симметрии из области ядерной физики, применив ее к описанию слабого

взаимодействия как калибровочного поля. Однако участниками этого взаимодействия являются уже не протоны и нейтроны, а все наизыэлементарнейшие на сегодняшний день частицы вещества — кварки и лептоны.

Прежде, чем дать сжатую картину классификации элементарных частиц, целесообразно проследить весь драматизм событий, охватывающих вторую половину предыдущего столетия, связанных с обнаружением кварков.

Представление о том, что адроны — сильно взаимодействующие частицы являются составными, состоящими из частиц с дробным электрическим зарядом, было впервые выдвинуто в 1963 году Мюрреем, Гелл-Манном и Джорджем Цвейгом, независимо предположившими существование трех сортов таких частиц. М. Гелл-Манн назвал их кварками, позаимствовав это экзотическое название из книги Джойса «Поминки по Финнегану». Предложенная гипотеза кварков сразу же обрела популярность, ибо открытие к тому времени десятков элементарных частиц и их резонансов обуславливало потребность классификации их. Согласно же укоренившейся в физике традиции отыскания «первокирпичиков материи» идея существования субчастиц-кварков казалась естественной, ибо позволяла все известные к тому времени сильно взаимодействующие частицы-адроны довольно просто описывать как различные комбинации кварков. Первоначально предполагалось существование трех сортов — ароматов кварков — u , d , s со спином $1/2$ и барионным числом $1/3$. u -кварку приписывался заряд, равный $2/3$ заряда протона, а d - и s -кваркам — заряд, равный $-1/3$ заряда протона. Предположение о существовании s -кварка было связано с открытием целого класса странных частиц (K -мезонов, гиперонов и некоторых резонансов). Все странные частицы являются нестабильными. Странные частицы вследствие столкновений адронов рождаются обязательно парами. Это и послужило основанием для введения в целях объяснения их парного рождения квантового числа «странности».

Предположили, что справедлив закон сохранения странности в процессах сильного взаимодействия. u , d -кваркам приписывается значение странности, равное 0, а s -кварку — значение странности, равное 1. Все странные адроны предположительно должны включать в себя странный s -кварк или \bar{s} -антикварк.

Гипотеза кварков предполагала деление адронов на два класса: класс барионов, состоящих из трех кварков с барионным числом B , равным 1 (соответственно для антибарионов $B = -1$), и класс мезонов, представляющих собою комбинацию кварк — антикварк с барионным числом 0. Так, протон и нейтрон — барионы, при этом протон представляет собой комбинацию uud -кварков, а нейтрон — udd -кварков.

Первоначальный вариант математической формулировки модели кварков основывался на симметрии $SU(3)$, где предполагалась симметрия между тремя ароматами u , d и s кварков. Идея использования симметрии $SU(3)$

явилась развитием попытки янг-миллсовского описания нуклоновского дублета (p , n). Однако понятно, что с помощью $SU(2)$ -симметрии невозможно построить странные частицы. Гипотеза кварков сразу же содержала в себе предположение о существовании трех сортов кварков; соответственно, подобно тому, как Янг и Миллс использовали двумерный спинор, состоящий из протона и нейтрона в группе $SU(2)$, для описания теории адронов с учетом гипотезы кварков была использована симметрия $SU(3)$, базисным состоянием которой предполагается трехкомпонентный спинор.

Надо отметить, что симметрия $SU(3)$ оказалась той группой, которая положена в основу кварковой физики. Однако симметрия здесь рассматривается не между ароматами кварков (которых, кстати, оказалось не три, а, как предполагается, шесть), как считалось в начале, а между цветными зарядами кварков.

Кварковая модель предсказывала существование частицы, которая должна была описываться комбинацией из трех s -кварков. Такая частица была открыта в 1964 году и была названа омега-минус-гипероном (Ω^- -гиперон). Сама по себе кварковая систематика требует симметричного состояния кварков. И, действительно, в эксперименте были зафиксированы частицы, представляющие собой, согласно кварковой модели, комбинации трех одинаковых кварков.

Это вступает в противоречие с принципом Паули, согласно которому невозможно существование даже двух фермионов с одинаковыми квантовыми числами. Таким образом, квантовая систематика требует введения нового квантового числа. В 1965 году советскими физиками Н. Н. Боголюбовым, Б. В. Струминским, А. Н. Тавхелидзе [11] и независимо Намбу и др. было предложено рассматривать три сорта кварков u , d и s в возможных состояниях с тремя различными квантовыми числами, названными по аналогии с электрическим зарядом цветовыми зарядами: красным, желтым и зеленым. Введение нового числа-цвета дает хорошее согласие с данными, полученными в экспериментах по электронно-позитронной аннигиляции. Название «цвет», разумеется, используется здесь не в обычном смысле этого слова, а означает лишь еще одну дополнительную степень свободы, приписываемую кваркам.

Всего возможно 27 комбинаций цветовых зарядов кварков, однако есть основания предполагать, что в природе реализуются всего три комбинации. Каждая комбинация должна быть подобрана так, чтобы сумма трех цветов кварков была равна нулю. Тем самым вводится гипотеза о том, что сам адрон — бесцветен. В случае барионов в их состав должны входить три кварка с тремя различными цветами — красным, желтым и зеленым, так что полная величина цветового заряда равна нулю. Соответственно антикварки можно охарактеризовать с помощью квантового числа-антицвета. Таким образом, комбинация кварк — антикварк в мезонах опять обесцвечивается.

Требование локальной калибровочной инвариантности симметрии $SU(3)$ относительно изменений цвета в каждой точке пространства приводит к появлению компенсирующих силовых полей — полей сильного взаимодействия, кванты которых получили название глюонов от (англ. слова *glue* — клей. Позже станет понятно, почему выбрано именно такое название). Число глюонов, согласно теории групп, оказывается равным 8. Испускание или поглощение глюона приводит к изменению цвета кварка. Таким образом, если слабое взаимодействие ответственно за изменение аромата кварков, то сильное взаимодействие изменяет цвет кварков. Все адроны представляют собой цветные синглеты, т. е. комбинация кварков в адронах приводит к обесцвечиванию адронов. Существует два способа образования адронных синглетов из цветных состояний в $SU(3)$ -симметрии: первый образуется из кварк-антикварковых состояний и соответствует мезонным состояниям; второй синглет — антисимметричная комбинация кварков трех различных цветов, что соответствует барионам. Сама по себе симметрия $SU(3)$ отражает именно тот факт, что адрон обесцвечен, т. е. имеет цветное синглетное состояние, инвариантное относительно вращений в цветном пространстве.

В настоящее время после открытия еще трех кварков общепринятой является шестикварковая модель, предложенная Кобаяши—Маскавой [189].

Таким образом, систематика адронов предполагает существование шести кварков, обладающих цветовым зарядом, взаимодействующих посредством векторных калибровочных глюонных полей. Поведение кварков — это новая, нетривиальная страница в истории физики. С одной стороны, ничего нетрадиционного в поисках наизыментарнейшего уровня в иерархии элементарных частиц и в связи с этим с гипотезой кварков нет, но, с другой стороны, существование кварков многими авторами рассматривается как феноменальное, исключительное явление, ибо кварки — частицы, «склеенные» глюонами внутри адронов и не встречающиеся в свободном состоянии. В квантовой хромодинамике сформулирована гипотеза **конфайнмента** (от англ. слова *confinement* — пленение) кварков внутри бесцветных адронов, согласно которой невозможен вылет свободного кварка или глюона из адрона. На протяжении всего развития физики представление о возможности получения любой частицы, если она реальна, в свободном состоянии представляло своего рода постулат. В связи с этим на первоначальном этапе гипотеза кварков многими известными учеными воспринималась скептически. Достаточно привести хотя бы точку зрения В. Гейзенберга: «Тот факт, что даже в космическом излучении кварки не были обнаружены, является очень сильным доводом в пользу их несуществования. Это можно было бы считать теперь уже окончательно установленным и мне представляется поэтому крайне трудным придать сколько-нибудь определенный смысл высказыванию „протон состоит из трех кварков“, коль скоро ни выражение „состоит из“, ни слово „кварки“ не обладают сами

достаточно определенным смыслом» [35. С. 158]. В работах [26; 94] проведен достаточно подробный анализ четырех классов экспериментов, результаты которых интерпретируются в рамках кварковой модели:

1. Данные адронной спектроскопии.
2. Глубоко-неупругое рассеяние лептонов на адронах.
3. Электронно-позитронная аннигиляция.
4. Нуклон-нуклонное взаимодействие.

Этот анализ позволил рассмотреть проблему объективной реальности кварков с привлечением критериев существования объектов физики как коррелятов действительности. Выводы, сделанные автором, свидетельствуют о том, что кварки являются принципиально наблюдаемыми объектами. Понятие принципиальной наблюдаемости следует отличать от непосредственной, чувственной наблюдаемости. Совершенно ясно, что невозможно оспаривать реальность некоторого объекта, если он непосредственно фиксируется в опыте. Ясно и то, что если бы подобная ситуация имела место в физике кварков, то и не возник бы вопрос о реальности существования кварков. Разработка критерия принципиальной наблюдаемости явилась как раз следствием того, что в современных условиях стала утрачиваться непосредственно наглядная связь между теорией и материальными объектами, описываемыми теориями, и возникла необходимость установления более сложной и вместе с тем строго научной связи между теоретическими конструкциями и измерительными операциями в физике. Так что принципиальная наблюдаемость рассматривается как связующее звено между принципами и формализмом теории, с одной стороны, и процессами экспериментального исследования природы, с другой.

Этот принцип впервые был рассмотрен А. Эйнштейном, который считал возможным рассмотрение некоторой теории как физической лишь в том случае, если она включает в себя «эмпирически проверяемые высказывания». Если же какие-то понятия в теории экспериментально не проверяемы (абсолютное пространство, абсолютное время и т. д.), то они не имеют физического смысла. М. Борн отмечал по этому поводу: «Руководящим принципом Эйнштейна было следующее положение: то, о чем хотя и можно мыслить и создать понятие, но что по самой своей природе не может быть подвергнуто экспериментальной проверке (например, одновременность событий в местах, отдаленных друг от друга), не имеет никакого физического смысла» [17. С. 335–336]. Дальнейшую разработку принцип наблюдаемости получил в работах В. Гейзенберга, М. Борна, П. Дирака, П. Ланжевена, Г. Бонди, В. А. Фока, И. Е. Тамма и многих других в связи с осмыслением достижений теории относительности и квантовой теории. В ряде работ философов и физиков анализируются различные философские вопросы, относящиеся к этому принципу. Общим для всех исследований можно считать понимание принципиальной наблюдаемости

явлений «как требование экспериментальной проверяемости теоретических положений» [47. С. 26].

Вывод о принципиальной наблюдаемости кварков можно сделать на основании каждого отдельного класса экспериментов, рассмотренных выше.

Перечисленные выше эксперименты, каждый в отдельности, дают косвенное подтверждение гипотезе кварков и определяют такие особенности в поведении кварков как «асимптотическую свободу» и «инфракрасное рабство». В работе [94], как уже отмечено, показано, что кварки удовлетворяют всем необходимым и достаточным условиям критерия существования. Важным результатом для формулирования теории кварков явилось доказательство в 1972 году Гроссом, Вилчеком и Политцером, удостоенных в 2004 году Нобелевской премии, того, что в неабелевых калибровочных полях на малых расстояниях константа связи стремится к нулю, обеспечивая тем самым явление асимптотической свободы [180]. Фришц, Гелл-Манн и Лейтвиллер [176] оформляют представления о кварках в виде теории, называемой квантовой хромодинамикой, в основу которой положена неабелева калибровочная симметрия $SU(3)$ ¹. Квантовая хромодинамика использует основные правила и методы квантовой теории поля и хорошо вписывается в стандартную модель квантовой теории поля. Более того, неабелева калибровочная симметрия благодаря «асимптотической свободе» позволяет все процессы с учетом кварков и глюонов на малых расстояниях рассчитывать по теории возмущений, используя исходный лагранжиан.

Тем не менее, квантовая хромодинамика как физическая теория до сих пор не решила основную проблему конфайнмента. Конфайнмент как физическая гипотеза — это компромисс между экспериментальными данными, свидетельствующими о существовании кварков внутри адронов, и экспериментальными данными, свидетельствующими об отсутствии кварков в свободном состоянии. Доказательство явления конфайнмента на математическом языке в квантовой хромодинамике до сих пор не получено. Кварки обладают электрическим зарядом, поэтому для кварков является естественным, как и в случае электродинамики, эффект кварк-антикварковой экранировки. Представление о взаимодействии микрообъектов с физическим вакуумом в электродинамике предполагает эффект рождения из вакуума вследствие этого взаимодействия виртуальных частиц, «шубой» окружающих исходную, затравочную частицу. В случае электрического заряда считается, что заряд виртуальных частиц экранирует исходный заряд микрочастицы: исходный заряд будет уменьшаться, так как притягивает к себе компоненту вакуумных флуктуаций с зарядом, противоположным собственному. Согласно теореме, доказанной Л. Д. Ландау и И. П. Померанчу-

¹ Абелева симметрия означает, что последовательность преобразований, выполненных в разном порядке, дает совпадающие результаты. Неабелева симметрия приводит к несовпадающим результатам.

ком [80], явление экранировки приводит к тому, что любое конечное значение затравочного заряда уменьшается до 0 [9]. Это обстоятельство вынуждает предположить, что затравочный заряд электрона равняется бесконечности, а конечное значение измеряемого заряда есть следствие того, что мы измеряем результирующий заряд электрона и окружающих его виртуальных частиц. Так что в квантовой электродинамике возникает проблема малых расстояний. Но кварк, помимо электрического заряда, обладает цветовым зарядом; между кварками действуют цветные силы, обусловленные обменом глюонами. Поскольку глюонные силы существенно сильнее электромагнитных, именно они определяют связанные состояния валентных кварков. Глюон, являясь подобно фотону безмассовой частицей (а это следствие того, что симметрия $SU(3)$ не нарушена), существенно отличается от него тем, что сам несет на себе цветовой заряд и способен к самодействию. Условие калибровочной инвариантности неабелевой теории приводит к появлению в лагранжиане взаимодействий нелинейных по калибровочному полю членов, что является математическим выражением эффекта самодействия глюонов. В результате самодействия глюонов в квантовой хромодинамике получают эффект диаметрально противоположный тому, который имеет место в квантовой электродинамике. Самодействие глюонов приводит не к экранировке заряда, а к его антиэкранировке: заряд глюона вблизи кварка оказывается таким же, как и заряд кварка, что приводит к увеличению цветового заряда с расстоянием. Эффект глюонной антиэкранировки оказывается доминирующим над эффектом кварк-антикварковой экранировки, в результате чего цветовой заряд растет с увеличением расстояния, т. е. потенциальная энергия двух цветных частиц возрастает с увеличением расстояния между ними (в отличие от электрически заряженных частиц), что приводит к «инфракрасному рабству» кварков и глюонов. Отсюда следует, что для того, чтобы разделить кварки потребовалась бы бесконечная энергия, и кварки навсегда пленяются внутри адрона. Этим объясняется, что кварки и глюоны наблюдаются в эксперименте лишь в виде адронных струй.

Естественно предположить, что, получая огромную энергию в эксперименте, кварк стремится удалиться от других кварков в адроне, вырваться из него, но по мере увеличения расстояния между кварками и антикварками цветная энергия настолько увеличивается, что ее оказывается достаточно для рождения из вакуума кварк-антикварковой пары, что равносильно рождению мезонов. Эксперименты показывают, что кварк с энергией порядка 10 ГэВ распадается примерно на семь адронов. Так как пионы являются самыми легкими адронами, они оказываются основными компонентами адронных струй. Напрашивается мысль, что явление конфайнмента очень напоминает странный аттрактор, и что принципы синергетики могут сыграть конструктивную роль в описании этого явления.

Итак, сильное взаимодействие ответственно за взаимопревращения цветов кварков. Действие же слабых сил приводит к изменению природы частиц — превращению кварка одного аромата в кварк другого аромата, левого электрона в левое нейтрино, и наоборот. (Правый электрон не может взаимодействовать с нейтрино, это является следствием нарушения четности). Типичный процесс слабого взаимодействия — это взаимодействие нейтрона и нейтрино с последующими превращениями их в протон и электрон. При этом d -аромат кварка в нейтроне превращается в u -аромат кварка в протоне с испусканием виртуальной частицы W^- -бозона, уносящей отрицательный электрический заряд и передающей его электрону. Слабое взаимодействие, таким образом, оказывается более сложным, чем электромагнитное, ибо изменяет природу взаимодействующих частиц. При попытке его калибровочной интерпретации, необходимо учитывать, что частицы — переносчики слабого взаимодействия должны иметь электрические заряды, в то время как фотон — квант электромагнитного поля не несет на себе электрического заряда. Следовательно, в поисках групп симметрии для слабого взаимодействия как нельзя более подходила симметрия $SU(2)$, ибо в отличие от абелевой симметрии $U(1)$, описывающей электромагнитное поле, она является неабелевой. Следствием абелевости симметрии $U(1)$ является то, что уравнения электромагнитного поля являются линейными, переносчики электромагнитного взаимодействия — фотоны не несут на себе заряда и не взаимодействуют друг с другом.

Поля всех ферми-частиц, участвующих в слабом взаимодействии, необходимо разбить на левые и правые состояния. Левые и правые состояния различным образом преобразуются относительно преобразований слабой изоспиновой $SU(2)$ -группы. Правые фермионы являются слабыми синглетами, в то время как левые — компонентами слабых дублетов.

Так, правые

$$\left. \begin{array}{l} \text{электрон } e_R^- \\ \text{кварки } \begin{array}{l} d_R \\ u_R \end{array} \end{array} \right\} \text{ — слабые } SU(2)\text{-синглеты;}$$

(правого нейтрино не существует);

$$\left. \begin{array}{l} \text{нейтрино } \begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix}_L \\ \text{электрон } e_L^- \\ \text{кварки } \begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}_L \end{array} \right\} \text{ — слабые } SU(2)\text{-дублеты.}$$

Когда частица находится в состоянии изоспина, направленном вверх во внутреннем $SU(2)$ -пространстве, она представляет собой нейтрино (или

u -кварк), если же в состоянии изоспина, направленном вниз во внутреннем $SU(2)$ -пространстве, то левый электрон (или d -кварк). Таким образом слабые дублеты взаимопревращаются при вращениях в слабом $SU(2)$ -пространстве ($\nu_{eL} \leftrightarrow e_L^-$; $u_L \leftrightarrow d_L$), то же относится к слабым дублетам второго и третьего поколения (см. ниже). Для синглетов не существует заряженного токового взаимодействия, вызывающего превращение, скажем, правого u_R -кварка в правый d_R -кварк и наоборот.

Требование локальной калибровочной $SU(2)$ -симметрии приводит к возникновению силовых полей, которые компенсировали бы изменения калибровочных преобразований от точки к точке. Симметрия $SU(n)$ требует добавки в ковариантную производную для обеспечения симметрии $n^2 - 1$ таких полей. В нашем случае число их составляет 3 поля с тремя векторными (спин 1) квантами таких полей — W^i -бозонами. Очевидно, что для перевода электрически заряженного электрона e_L^- в нейтрино необходим векторный заряженный бозон W^- , нейтрино ν_L — в электрон e_L^- — W^+ -бозон, для перевода позитрона e^+ в антинейтрино W^+ -бозон, а антинейтрино в позитрон e^+ — W^- -бозон. W^\pm осуществляют превращения ароматов левых кварков.

В отличие от электромагнитного и сильного взаимодействия слабое взаимодействие характеризуется тем, что нарушает целый ряд законов сохранения: пространственной четности P , зарядовой четности C , комбинированной четности CP , странности, чарма и др. Еще задолго до использования $SU(2)$ симметрии для описания слабых превращений Каммером была выдвинута идея о том, что нарушение зеркальной симметрии в слабом взаимодействии требует существования нейтрального переносчика взаимодействия Z^0 -бозона. Существовала и другая точка зрения, высказанная Клейном, согласно которой третьей компонентной является фотон. А. Салам приводит обе эти точки зрения, говоря об истории создания единой теории электро-слабых взаимодействий в своей нобелевской лекции, подчеркнув, что успех создания теории, в частности, определился пониманием того, что обе точки зрения на самом деле не являются альтернативными, а дополняют друг друга. «Как было замечено Глэшоу и независимо позже Уордом и мной, — отмечает Салам, — оба типа токов (электромагнитного и нейтронного, обусловленного бозоном Z^0 . — Л. М.) и соответствующих калибровочных частиц (W^\pm , Z^0 и γ) были необходимы для построения теории, которая могла бы одновременно обеспечить нарушение четности в слабых взаимодействиях и сохранение четности в случае электромагнетизма» [122. С. 17]. Так возникла идея объединения электромагнитных и слабых сил единой калибровочной симметрией, требующей предположения о существовании поми-

мо нейтрального безмассового бозона — фотона γ еще одного нейтрального Z^0 -бозона, обладающего, однако, массой.

Надо сказать, что теория слабого взаимодействия создавалась не сама по себе, а оказалась вписанной в единую электрослабую теорию. Это видно и из вышеприведенной цитаты. Поиски третьего бозона для симметрии Z^0 , решение проблемы четности в слабых и электромагнитных взаимодействиях прокладывали дорогу для создания единой теории электрослабых взаимодействий, которая объяснила бы особенности слабого взаимодействия в рамках единой теории в терминах локальной калибровочной симметрии. И такая теория была предложена в 1967 году С. Вайнбергом и А. Саламом, идейные основы теории были заложены Дж. Глэшоу, и описывалась она симметрией $SU(2) \times U(1)$. Эксперимент достаточно быстро дал подтверждение существованию нейтральных переносчиков слабого взаимодействия: в 1973 году в ЦЕРНе были зарегистрированы два процесса, свидетельствующих о существовании нейтрального промежуточного бозона Z^0 : процесс рассеяния нейтрино и электрона и процесс рассеяния электрона на нуклоне с сохранением индивидуальности взаимодействующих частиц. Ясно, что, обмениваясь заряженными W^\pm -бозонами, частицы претерпевают превращения, сохранение индивидуальности при взаимодействии возможно только путем обмена нейтральным бозоном.

Далее последовало второе подтверждение теории: в 1974 году В. Рихтером [119] и независимо от него С. Тингом [134] была открыта Ψ/J -джей-пси-частицы (Рихтером она была названа Ψ -частицей, а Тингом — J -частицей), которая интерпретировалась как система, состоящая из s -кварка и \bar{c} -антикварка ($s\bar{c}$ -система). Ранее, в 1971 году Глэшоу, Иллиопулос и Майяни [177] показали, что в калибровочные теории для последовательного описания нейтральных токов слабого взаимодействия необходимо введение партнера для странного s -кварка — четвертого кварка (на тот этап исследования признавалось существование трех кварков). Авторы [177] назвали его s -кварком, очарованным кварком (от англ. слова *charm* — очарование), а Рихтер и Тинг дали экспериментальное подтверждение его существованию. Это в свою очередь, служило косвенным доказательством существования Z^0 -бозона, что вселяло уверенность в правильности выбранной линии для объединения электромагнитного и слабого взаимодействия.

Созданию единой теории электромагнитного взаимодействия предшествовало одно немаловажное обстоятельство. В шестидесятых годах была доказана перенормируемость полей Янга—Миллса ($SU(2)$ -симметрии). Как отмечает С. Вайнберг: «Я думал, что перенормируемость может оказаться ключевым критерием, который и при более общем подходе потребует некоей простоты от наших теорий и поможет нам выбрать одну

истинно физическую теорию среди бесконечного множества разумных квантовых теорий поля» [20. С. 41]. Привлечение калибровочного принципа, помноженного на идею перенормируемости теории, явилось хорошей стратегической линией при построении единой электрослабой теории. Именно требование перенормируемости теории привело к использованию идеи спонтанно нарушенной симметрии.

Дело в том, что калибровочные поля являются дальнедействующими, слабое же взаимодействие проявляется на очень маленьких расстояниях, а это означает, что переносчики слабого взаимодействия W^\pm , Z^0 -бозоны должны иметь огромную массу. Проблема с существованием нейтрального Z^0 -бозона также связывалась с предположением о массивности его, ибо, если бы существовал нейтральный бозон с нулевой массой, подобно фотону, он был бы давно обнаружен. Единственная возможность избежать противоречия — это принять для описания электрослабого взаимодействия существование бозонов, обладающих массой. На период формулирования теории необходимые энергии в ускорителях для наблюдения W^i -частиц в эксперименте еще не были достигнуты (это случилось только в 1983 году) и существовали лишь косвенные доказательства существования W^i -бозонов, о которых мы упоминали выше. Сама же симметрия $SU(2) \times U(1)$ имеет одну серьезную проблему: все фермионы и калибровочные бозоны, входящие в теорию, имеют в ней нулевые массы. Это относится к стандартной модели квантовой теории поля в целом. В лагранжиан взаимодействий невозможно включить члены с массами частиц, ибо эти члены оказываются неинвариантными относительно калибровочных преобразований. Единственный способ сохранения инвариантности полного лагранжиана состоит в том, чтобы положить массы всех частиц кварков, лептонов и бозонов равными нулю, что явно противоречит эксперименту. Кроме этого, введение масс частиц приводит к появлению бесконечностей и неперенормируемости теории.

Выход из затруднительного положения был найден Хиггсом, Кибблом и др. [184], разработавшими механизм, посредством которого элементарные частицы приобретают массу вследствие взаимодействия их с неинвариантным вакуумом, о чем будет сказано в третьем параграфе данной главы.

Таким образом, во второй половине XX века вырисовывается достаточно строгая классификация элементарных частиц. Однако прежде чем представить ее читателю, мы позволим себе перевернуть страницы истории немного назад.

К началу XX века физика изучает материю в двух ее проявлениях — веществе и поле. Обе эти модификации рассматриваются как равноправные, обе обладают такими характеристиками как энергия, масса, импульс. Частицам вещества приписываются такие свойства как дискретность, ко-

нечность числа степеней свободы, в то время как поле характеризуется непрерывностью распространения в пространстве, бесконечным числом степеней свободы. Структура электромагнитного поля резюмируется в семи уравнениях Максвелла. Эти уравнения отличаются от уравнений механики. Уравнения механики применимы к областям пустого пространства, в которых присутствуют частицы. Уравнения же Максвелла применимы для всего пространства независимо от того присутствует там вещество (в том числе, заряженные тела). Иными словами, появляется возможность проследить изменения поля во времени в любой точке пространства, т. е. получить уравнение электромагнитной волны. Уравнения Максвелла позволяют описывать все известные электрические и магнитные явления. Тот факт, что семь уравнений Максвелла увязывают воедино большое число физических законов, да к тому же имеют простую изящную симметричную форму, по сей день вызывает истинное эстетическое восхищение физиков. Следует отметить, что в теории Фарадея—Максвелла поле возникает как развитие идеи эфира, утверждая принцип близкодействия, отвергая представления о пустоте, о вакууме. Однако специальная теория относительности лишит эфир его основного механического свойства — абсолютного покоя. Ибо, по словам Эйнштейна, «...введение „светоносного“ эфира окажется измышлением, поскольку в специальной теории относительности не вводится „абсолютно покоящееся пространство“, наделенное особыми свойствами». Отметим, что элиминация эфира из физической теории представляет собой отказ от концепции дальнедействия и концепций абсолютного пространства и абсолютного времени. При этом в науке утверждается представление о поле как пустой континуалистской среде.

Важный вклад П. Дирака в развитие квантовой теории состоит в том, что он применил к теории электромагнитного поля правила квантования, в результате чего получил дискретные значения поля. Эти привели к рождению представлений о виртуальных частицах, о представлениях о сложности вакуума квантовой теории поля. К слову сказать, что еще один важный вклад Дирака в развитие науки состоит в том, что он составил уравнение, которое описывало движение электрона с учетом законов и квантовой механики и теории относительности Эйнштейна, благодаря чему был открыт мир античастиц. Таким образом, с тридцатых годов двадцатого века на место континуалистского поля приходит представление о поле квантованном. Кванты различных полей участвуют в передаче взаимодействий.

Важно, что частицы вещества и кванты полей подчиняются разным квантовым статистикам и ведут себя различным образом. Так, частицы вещества являются ферми-частицами (фермионами). Системы тождественных ферми-частиц подчиняются статистике Ферми—Дирака. Все фермионы имеют полуцелое значение спина. А для частиц с полуцелым зна-

чением спина справедлив принцип запрета Паули, согласно которому две тождественные частицы с полуцелым спином не могут находиться в одном и том же состоянии. Принцип Паули определяет образование электронных оболочек в атомах, поскольку в одном о том же состоянии могут находиться только два электрона с противоположными спинами, что определяет закономерности периодической системы элементов Менделеева.

Все кванты полей являются бозе-частицами (бозонами) — частицами с целочисленным значением спина. Системы тождественных бозе-частиц подчиняются статистике Бозе—Эйнштейна. Принцип Паули для них не справедлив: в одном и том же состоянии может находиться любое число частиц. Так что бозе- и ферми-частицы рассматриваются как частицы, имеющие различную природу. В калибровочных теориях до недавнего времени это различие снять не удавалось, и физики констатировали факт разделения материи на два вида — вещество и поле.

В свою очередь частицы вещества делятся на две группы — кварки и лептоны. Кварки и лептоны входят в состав других физических объектов и считаются при достигнутых на сегодняшний день энергиях «бесструктурными». Как уже отмечалось, кварки — это частицы, которые кроме электрического заряда, обладают цветным зарядом. Лептоны — бесцветны и не участвуют в сильных взаимодействиях. Предполагается существование шести кварков и шести лептонов. При этом производится деление их на семейства трех поколений.

Таблица 1

Семейство — поколение	Кварки	Лептоны
Семейство — поколение I	u_R, u_Y, u_G (u -кварк)	ν_e — электронное нейтрино
	d_R, d_Y, d_G (d -кварк)	e — электрон
Семейство — поколение II	c_R, c_Y, c_G (c -кварк)	ν_μ — мюонное нейтрино
	s_R, s_Y, s_G (s -кварк)	μ — мюон
Семейство — поколение III	t_R, t_Y, t_G (t -кварк)	ν_τ — τ -нейтрино
	b_R, b_Y, b_G (b -кварк)	τ — τ -частица

В столбце «Кварки» латинскими буквами обозначены различные ароматы кварков, индексами — цвета кварков. Название ароматов кварков: u — от английского слова *up* — вверх; d — от английского слова *down* — вниз; c — от английского слова *charm* — очарование; s — от английского слова *strange* — странный; t — от английского слова *top* — верхний; b — от английского слова *bottom* — нижний.

Все вещество во Вселенной составлено из четырех частиц I поколения. Частицы второго и третьего поколения рассматриваются как возбужденные состояния частиц первого поколения в соответствии с их расположением в таблице. Все различия в теории для второго и третьего семейства связаны с учетом изменения масс частиц: частицы второго и третьего поколения более массивные. Рождаясь в ускорителях или космических лучах, они являются короткоживущими и сразу же распадаются на частицы, принадлежащие первому семейству. В настоящее время пока неизвестно, почему существует именно такое количество поколений частиц и не существуют ли и другие пока еще неоткрытые семейства частиц? Одной из важных проблем стандартной модели квантовой теории поля является вопрос о смешении кварков различных поколений. Дело в том, что поколения совершенно идентично участвуют в фундаментальных взаимодействиях, однако природа расщепления спектра масс до сих пор не выяснена. Ясно, что природа этого расщепления представляет собой нелинейный процесс, обусловленный смешиванием кварковых поколений. Здесь как бы возрождается широко обсуждаемая в 60-х годах прошлого века идея бутстрапа. Эффект смешивания кварковых поколений, кстати хорошо изученный экспериментально, свидетельствует о взаимообусловленности свойств отдельного кварка свойствами кварков других поколений. Если бы каждое поколение кварков обладало только своими собственными свойствами, то только один кварк этого поколения, причем кварк с меньшей массой, был бы стабильной частицей. Однако стало понятно, что партнерами для распадов кварков являются кварки не только того же самого, но и соседних поколений: каждый из приведенных в таблице кварков есть суперпозиция всех кварков верхнего или нижнего типа. Как отмечают авторы: «В этой суперпозиции, конечно, доминирующее место занимает тот кварк, который и фиксирует номер поколения. Два других кварка являются, образно говоря, некоторыми малыми примесями, роль которых, однако, чрезвычайно велика в формировании свойств вещества... Если бы смешивания не было, то тяжелые частицы (гипероны) входили бы вместо протонов и нейтронов в состав стабильных атомных ядер, образуя так называемые гиперядра. Отличительное свойство таких ядер — они существенно тяжелее обычных ядер при одном и том же числе нуклеонов. В макромасштабе существование стабильных гиперядер привело бы к появлению материальных объектов с почти идентичными химическими свойствами, но сильно различающихся по массе. Такие объекты могли бы сформировать совершенно новые химические и биохимические структуры. Мир, в котором гиперядра стабильны, сильно отличался бы от наблюдаемого мира. Уже одно это обстоятельство заставляет нас самым серьезным образом отнестись к проблеме смешивания, которая, конечно, является частью общей проблемы происхождения кварк-лептонных поколений» [82. С. 29]. В стандартной модели расщепление спектра масс и смешивание поколений вводится на основании

гипотезы о различной интенсивности взаимодействий частиц разных поколений с хиггсовым конденсатом. А это значит, что вакуум в действительности обладает чрезвычайно сложной структурой.

Другая проблема — выделенный статус нейтрино. Выделенность нейтрино состоит в его практически нулевой массе. В современной классификации элементарных частиц нейтрино представляется как частица, имеющая нулевую массу, хотя накоплено достаточное количество косвенных экспериментальных данных [5; 6], свидетельствующих о том, что массы нейтрино все же отличны от нуля, хотя и весьма малы. Численные значения массы нейтрино лежат в интервале от 1 до 10 эВ ($1 \text{ эВ} = 10^{-3} \text{ МэВ}$), т. е. более чем в 10 000 раз легче ближайшей по массе элементарной частицы — электрона. Интересным является то обстоятельство, что математическая строгость стандартной модели не требует нулевого значения массы нейтрино. Так что вопрос о том, почему величина массы нейтрино так мала и так сильно отличается от характерной массы соответствующего кварк — лептонного поколения, остается неясным. Но даже очень легкое нейтрино могло бы служить указанием на существование мира сверхтяжелых X -бозонов.

Все частицы вещества участвуют в гравитационных и в слабых взаимодействиях. Так, например, действие слабых сил приводит к изменению природы частиц — превращению кварка одного аромата в кварк другого аромата, электрона в нейтрино и т. д. В электромагнитных взаимодействиях участвуют только те частицы, которые имеют электрический заряд. Известно, что кварки имеют дробный электрический заряд. Значит, они также участвуют в электромагнитных взаимодействиях, как и электрон. Нейтрино в электромагнитных взаимодействиях не участвуют. И, наконец, только кварки, обладающие цветным зарядом, способны к сильным взаимодействиям. Наблюдается следующая иерархия в построении структурных элементов материи: кварки объединяются в адроны — барионы или мезоны. Барионы — протон и нейтрон — образуют ядра атомов; ядра и электроны образуют атомы, а атомы — молекулы и т. д.

Квантом гравитационного поля является **гравитон**. Однако гравитон пока не установлен экспериментально, равно как и не построена по сей день теория квантовой гравитации.

Квантом электромагнитного поля является **фотон** γ . Масса покоя фотона равна 0. Фотон не несет на себе электрического заряда. Это обеспечивает линейный характер электромагнитных взаимодействий и большой радиус их действия.

Квантами слабого взаимодействия являются три бозона — W^+ , W^- , Z^0 -**бозоны**. Верхние индексы указывают знак электрического заряда этих квантов. Кванты слабого взаимодействия имеют значительную массу, что приводит к тому, что слабое взаимодействие проявляется на очень коротких расстояниях.

Квантами сильного взаимодействия являются **восемь глюонов**. Если слабое взаимодействие ответственно за изменение ароматов кварков, то сильное взаимодействие, осуществляемое посредством обмена глюонами между кварками, приводит к изменению цветов кварков. Так что в ядре постоянно происходят взаимопревращения протонов и нейтронов за счет обмена квантами слабого взаимодействия между кварками, вследствие чего *u*-кварк превращается в *d*-кварк и наоборот. Кроме этого внутри протонов и нейтронов кварки постоянно меняют свои цвета, испуская и поглощая глюоны. При этом протоны и нейтроны остаются бесцветными. Подобная инвариантность требует существования поля сильного взаимодействия для поддержания цветовой симметрии кварков. Хвост сильного взаимодействия между кварками внутри протонов и нейтронов, обеспечивает силы притяжения между протонами и протонами, протонами и нейтронами, нейтронами и нейтронами внутри ядра (ядерные силы).

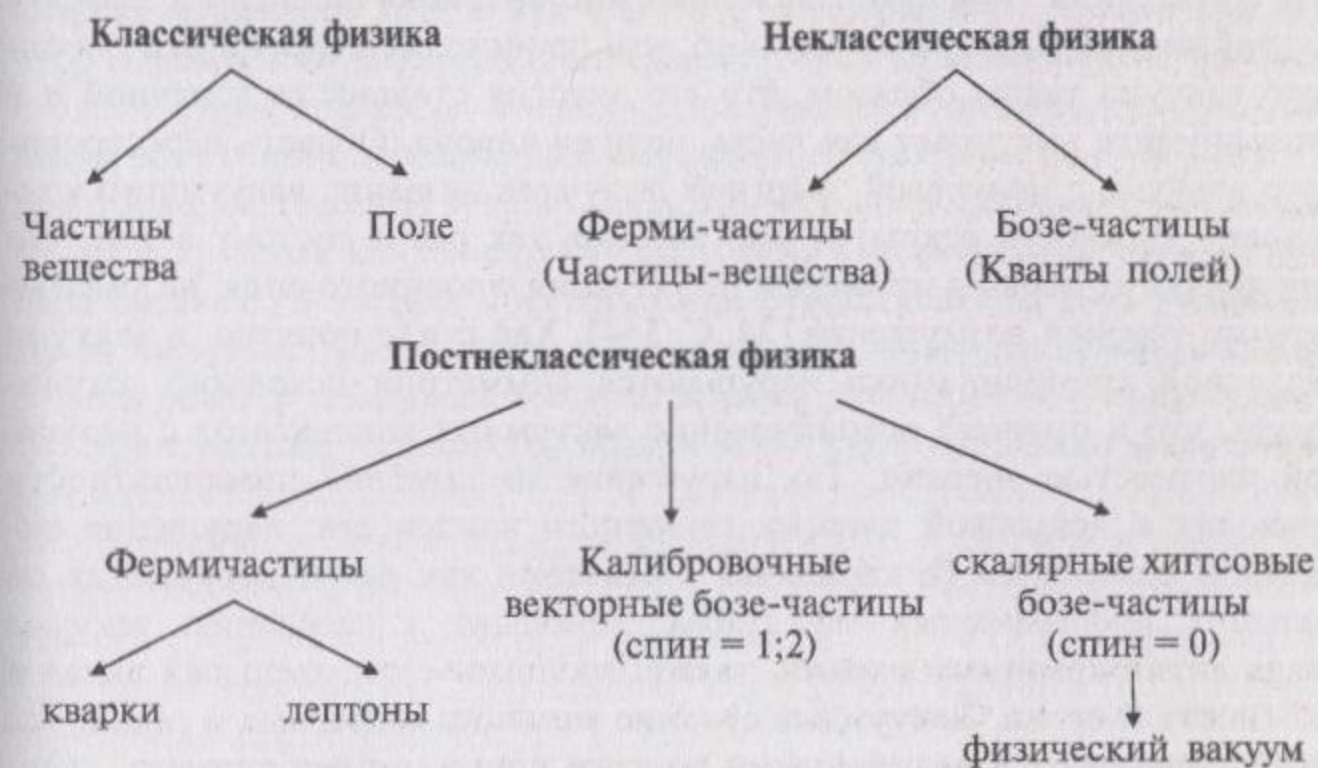
Следует отметить, что взаимодействия, соответствующие калибровочной симметрии, характерны тем, что их величина определяется величиной заряда соответствующего взаимодействия, т. е. заряд калибровочного взаимодействия одновременно определяет и величину заряда элементарной частицы и величину («силу») самого взаимодействия, так называемую константу связи. В настоящую эпоху эволюции Вселенной константы связи различных взаимодействий относятся следующим образом:

$$a_S : a_e : a_W : a_G = 1 : \frac{1}{137} : 10^{-5} : 10^{-39},$$

где a_S — константа связи сильного взаимодействия; a_e — константа связи электромагнитного взаимодействия; a_W — константа связи слабого взаимодействия; a_G — константа связи гравитационного взаимодействия. Современные физики считают, что такое соотношение существовало не всегда. Иными словами, рассматриваемые постоянные не являются постоянными. И существовала эпоха в эволюции Вселенной, когда эти константы были равны. А это означает, что не существовало различий между четырьмя типами физических взаимодействий. Именно это обстоятельство и стимулирует физиков в построении единой теории всех физических взаимодействий, единой теории поля. Однако для того чтобы понять те физические идеи, на которых базируется построение этой теории, следует сказать, что в действительности физика рассматривает материю не в двух проявлениях — веществе и поле, как это отмечается во многих физических справочниках, словарях и энциклопедиях, а в трех проявлениях. Третьим, качественно отличным от вышеназванных двух форм материи, является физический вакуум. Дело в том, что все кванты полей, рассмотренные нами ранее, являются векторными калибровочными бозонами. Калибровочными их называют по той причине, что они являются кванта-

ми калибровочных полей. Векторными их называют потому, что все они имеют целочисленное значение спина, равного 1, за исключением гравитона, спин которого предполагается равным 2. Физический вакуум нашей Вселенной рассматривается как коллективные возбуждения хиггсовых скалярных бозонов, спин которых равен 0. Именно физический вакуум является прародителем всех частиц вещества и квантов полей, резервуаром, перекачка энергии из которого обеспечила их возникновение и функционирование. Способность вакуума в ходе эволюции Вселенной изменять свое состояние и привела к многообразию форм физического мира.

Сопоставление представлений о структуре материи на разных этапах эволюции науки представлено ниже:



§ 2.3. Современные представления о физическом вакууме. Идея спонтанного нарушения симметрии вакуума

Новый и важный этап теоретического исследования физического вакуума связан с развитием физики кварков, где возникают новые представления о структуре физического вакуума. Это обстоятельство требует специального рассмотрения.

Как отмечалось, в теории калибровочных полей старому понятию поля придается геометрический смысл. Поле рассматривается как расслоенное пространство, а калибровочные потенциалы как координаты форм связности на расслоениях. Роль топологии в современной теоретической физике была оценена именно в связи с обнаружением нетривиальной то-

пологии глюонных полей [191; 192]. Уже на классическом уровне вакуумное состояние неабелевых калибровочных полей оказывается бесконечно вырожденным. Расслоение пространства идентично рассмотрению вакуума с вырождением. На калибровочные потенциалы необходимо накладывать определенные граничные условия — требование конечности действия. Конечному действию в пространстве Евклида (здесь время заменяется четвертой координатой) отвечают решения, характеризующиеся топологической величиной, — числом инстантонов. Включение квантовых эффектов приводит к эффекту туннелирования, и инстантоны рассматриваются как туннельные переходы между различными вырожденными вакуумами. Ряд физиков считает, что именно сложные вакуумные флуктуации типа «расплавленных инстантонов» приводят к эффекту конфайнмента. Главное же здесь то, что происходит перестройка глюонного вакуума таким образом, что его энергия становится конечной и в эксперименте выступает как часть энергии адрона. Область перестроенного вакуума с ненулевой энергией получила название вакуумного конденсата. Важность открытия инстантонов как раз и состоит в том, что они являются первым примером флуктуации глюонного поля, не ухватываемого теорией возмущения [24. С. 554]. Как стало понятно, в вакууме квантовой хромодинамики нарушаются симметрии исходного лагранжиана, что и означает возникновение вакуумных конденсатов с ненулевой плотностью энергии. Так нарушение масштабной инвариантности приводит к ненулевой энергии глюонного конденсата; нарушение киральной симметрии (а киральная симметрия как раз и нарушается на больших инфракрасных масштабах) приводит к заселению вакуума кварк-антикварковыми парами, также дающими отрицательный вклад в плотность энергии. Вакуумные средние значения кварковых и глюонных полей оказываются нелинейными по этим полям, иными словами, кварковые и глюонные конденсаты имеют непертурбативную структуру, т. е. не описываются теорией возмущения. С математической точки зрения это представляет большие трудности и требует для построения «истинно непертурбативного вакуума» новых подходов. И здесь синергетические методы были бы весьма кстати.

Таким образом, в кварковой физике объектом исследований становятся вакуумные конденсаты, имеющие непертурбативную структуру. В теории рассматриваются процессы взаимопревращения вакуумных конденсатов в кванты полей, т. е. речь идет о перекачке энергии из вакуумного конденсата в вещество. Непертурбативность вакуума и геометрическое происхождение его дают необходимый штрих для постановки вопроса о рассмотрении вакуума в качестве исходной абстракции в физике.

Следует отметить, что стандартная модель квантовой теории, примененная в теории электрослабого взаимодействия и в квантовой хромоди-

намике, утвердившая тем самым новые идеи в физике, а именно: идею о спонтанном нарушении симметрии и идею о кварково-глюонном структурном уровне строения материи, тем не менее, оставила ряд открытых вопросов, требующих своего разрешения. Это, прежде всего, проблема хиггсова механизма и хиггсовых вакуумных конденсатов.

В квантовой теории поля под вакуумом, как уже отмечалось, понимается наименьшее энергетическое состояние квантованного поля — основное состояние поля, а возбуждения этого поля интерпретируются как частицы поля. При этом подразумевалось, что наименьшему энергетическому состоянию соответствует состояние, в котором среднее значение всех физических полей равно нулю. Так что вакуум в общепринятом смысле понимался хотя и как «ничто», но в среднем все-таки как «ничто». Новый этап развития физической теории ознаменовывается существенно иным подходом, а именно признанием возможности существования состояний с наименьшей энергией при отличном от нуля значении некоторых физических полей. Так возникает представление о существовании вакуумных конденсатов — состояний с отличным от нуля вакуумным средним. В теории предположили существование двух различных типов вакуумных конденсатов: векторного вакуумного конденсата калибровочных полей и скалярного конденсата хиггсовых полей, т. е. предполагается существование некоторого, называемого хиггсовым, поля с квантами, имеющими спины, равными 0, заполняющим всю Вселенную. Калибровочные фермионы и бозоны могут взаимодействовать с хиггсовым полем, благодаря чему они и приобретают массу. Состояние Вселенной с наличием в ней хиггсовых полей приводит к появлению в $SU(2) \times U(1)$ -теории квантовых чисел вакуума, не равных нулю, т. е. к представлению о спонтанном нарушении симметрии $SU(2) \times U(1)$.

Надо сказать, что сама идея описания единого электромагнитного и слабого взаимодействий, симметрия которых скрыта от нас в настоящую эпоху эволюции Вселенной, должна была логически вызвать к жизни идею спонтанного нарушения симметрии, т. е., если симметрия между электромагнитным и слабым взаимодействиями существует, она не должна проявляться в современном вакууме, и мы в праве предположить асимметричность вакуума в качестве платы за устойчивое состояние системы. Само возникновение нулевых вакуумных полей является следствием того, что при определенных макроусловиях фундаментальные симметрии (в нашем случае симметрии между электромагнитными и слабыми полями) оказываются в состоянии неустойчивости, не соответствующем минимальному значению энергии. Наиболее распространенной и наглядной иллюстрацией спонтанного нарушения симметрии является иллюстрация спонтанного нарушения вращательной симметрии, если тело находится на вершущке мексиканского сомбреро или донышка бутылки. Очевидно, что

тело, находящееся в точке, соответствующей симметричному решению исходной вращательной симметрии (рис. 1а), неустойчиво, и скатится в одно из возможных устойчивых состояний, соответствующих минимуму энергии (рис. 1б).

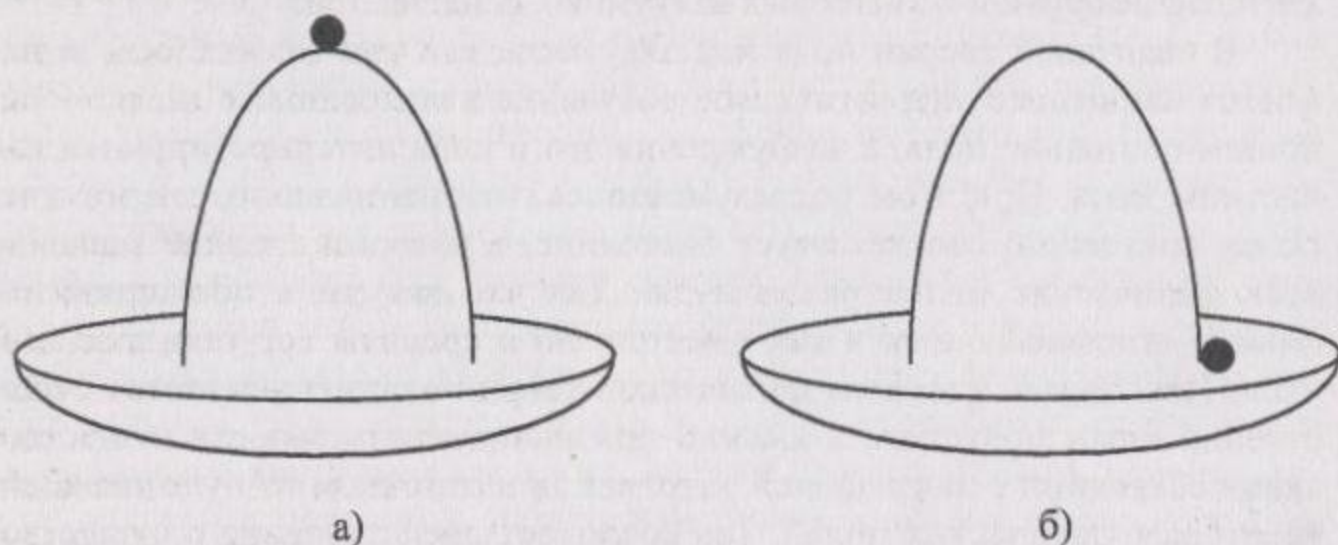


Рис. 1

При этом наблюдаемое состояние системы уже не отражает исходной вращательной симметрии, которая, тем не менее, по-прежнему существует. Эта же идея присутствует и в случае не вращательной, а калибровочной симметрии. Возможны ситуации, когда лагранжиан квантовой теории обладает точной симметрией, в то время как низшее физическое состояние (вакуум) не обладает симметрией лагранжиана, не является скаляром, а преобразуется по одному из представлений группы симметрии лагранжиана. В случае хиггсового поля мы имеем дело с подобным явлением, как если бы изменение потенциальной энергии вакуума имело форму «мексиканского сомбреро».

Идея спонтанного нарушения симметрии также имеет свою историю тернистого пути развития. Первоначально она была введена в физику элементарных частиц из физики твердого тела (в которой явление спонтанного нарушения симметрии в областях фазовых переходов достаточно хорошо изучены) В. Гейзенбергом, а также Намбу, Голдстоуном и другими учеными, работавшими в обеих областях физики. Далее, Голдстоуном было показано, что спонтанное нарушение симметрии обязательно влечет за собой появление безмассовой частицы с нулевым спином, так называемого «голдстоуновского бозона».

Однако никаких таких «голдстоуновских бозонов» в эксперименте не наблюдалось. Это ставило под сомнение в случае объединения идеи спонтанного нарушения симметрии с неабелевыми калибровочными полями существование неинвариантных вакуумных конденсатов. С. Вайнберг вспоминает, какое разочарование вызвало в нем появление в теории без-

массовых голдстоуновских бозонов. «Насколько помню, я был столь разочарован этими нулевыми массами, — пишет он, — что при написании статьи по этому вопросу я добавил к ней эпиграф, чтобы показать бессмысленность попыток объяснить что-либо в терминах неинвариантного состояния вакуума: это были слова Лиры к Корделии: „Из ничего не выйдет ничего. Так объяснись!“» [20. С. 38]. Вскоре Хиггсом, Кибблом и др. [184] было показано, что голдстоуновский бозон существовал бы, если бы не наличие калибровочной инвариантности. Калибровочные бозоны в момент спонтанного нарушения симметрии хиггсовым полем, т. е. в момент возникновения голдстоуновских бозонов, «съедают» голдстоуновские бозоны, т. е. в спонтанно нарушенной калибровочной симметрии калибровочный векторный бозон использует степень свободы голдстоуновского бозона для перехода из безмассового состояния в состояние бозона, обладающего массой. Массивный векторный бозон имеет три спиновых состояния (три степени свободы), в то время как векторный безмассовый бозон имеет две степени свободы. То, что являлось бы «голдстоуновским бозоном», если бы теория не была калибровочно-инвариантной, т. е. в ней не существовало бы векторных калибровочных бозонов, становится состоянием с продольной поляризацией для калибровочного векторного бозона, оказывается той недостающей степенью свободы, благодаря чему векторные бозоны приобретают массу. Так что, голдстоуновские бозоны отщепляются и пропадают, калибровочные же бозоны приобретают массу, и остается хиггсовое поле с хиггсовым бозоном со спином 0. Математически «механизм Хиггса» очень красив и логичен, превращает голдстоуновские бозоны из «нежелательных пришельцев в долгожданных друзей» [20. С. 39]. Однако физический смысл этого механизма в современной физике элементарных частиц понят не полностью, хотя и дает новое представление о роли физического вакуума в истории нашего конкретного мира, ибо ставит вопрос о происхождении масс частиц вследствие генерирования их определенным состоянием вакуума. В стандартной модели квантовой теории поля именно хиггсовым механизмом объясняется появление масс у элементарных частиц вследствие спонтанного нарушения соответствующих симметрий.

Итак, в 1967 году Вайнбергом и Саламом была применена идея спонтанного нарушения симметрии для построения теории с массивными W^\pm , Z^0 -бозонами и безмассовым фотоном γ . Однако «вайнберг-саламовская лягушка» превратилось, по образному выражению Колемана, «в сказочного принца» только благодаря работе т Хоофта, доказавшего в 1971 году теорему о перенормируемости теории калибровочных полей со спонтанным нарушением симметрии, несмотря на появление массивных векторных бозонов [185]. 1979 год ознаменовался вручением нобелевских премий А. Саламу, С. Вайнбергу и Дж. Глэшоу за создание единой теории

электрослабых взаимодействий. А эксперименты 1983 года в ЦЕРНе по обнаружению W^\pm , Z^0 -бозонов, результаты которых оказались в полном соответствии с предсказаниями теории [73], дали подтверждение правильности стратегической линии использования идей калибровочной симметрии в единстве с представлениями о спонтанно нарушенной симметрии и явились косвенным подтверждением существования хиггсовых вакуумных конденсатов. Успех этот вселил в умы и души большинства физиков-теоретиков убеждение, что область применимости неабелевых калибровочных теорий в действительности включает всю физику элементарных частиц, убеждение, стимулирующие движение мысли на пути к созданию теории Великого объединения и суперсимметрии, к рассмотрению которых мы и переходим.

§ 2.4. Великое объединение. Суперсимметрия. Супергравитация

Успехи создания единой электрослабой теории предпослали дальнейшие шаги на пути объединения взаимодействий, а именно создание теории, объединяющей электрослабое и сильное взаимодействие, что означало бы объединение кварков и лептонов в одно представление некоторой группы более высокой симметрии.

Все такие попытки называются теориями Великого объединения (ТВО) (правильнее было бы назвать их моделями) — *Grandunification* (англ.), или сокращенно *GUT*. Масштаб этого объединения должен достигать 10^{15} ГэВ. Впервые идея объединения кварков и лептонов в один мультиплет была высказана А. Саламом и И. Пати в 1972 году. Она и явилась переломным моментом, давшим рождение всевозможным вариантам Великого объединения. Очевидно, что во всех вариантах, обсуждаемых на современном этапе, предполагается, что симметрия Великого объединения должна быть калибровочной, неабелевой и содержать $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ подгрупп. В 1974 году Джорджи и Глэшоу предложили обобщение, объединяющие в единый мультиплет не только кварки и лептоны (левовинтовые), но также и их античастицы. Ими предложен простейший вариант Великого объединения — симметрия $SU(5)$.

Факт объединения кварков и лептонов в единый мультиплет предполагает возможность переходов между ними. Если подобная симметрия между кварками и лептонами действительно существует, то для компенсации калибровочных преобразований требуется наличие 24 полей: 12 квантов этих полей уже известны — это 1 фотон, 3 векторных бозона W^\pm , Z^0 ; восемь глюонов. Остальные 12 квантов полей должны нести на себе функции переносчиков взаимодействий, осуществляющих взаимопревра-

щения между кварками и лептонами. Назвали их X -частицами. Спонтанное нарушение симметрии $SU(5)$ до симметрии $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ дает вакуумное среднее 10^{15} ГэВ, в то время как спонтанное нарушение симметрии $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ до $SU(2) \times U(1)$ дает вакуум среднее 100 ГэВ. И если переносчики электрослабого взаимодействия с массами порядка ~ 100 ГэВ, упоминаемые нами выше W^\pm , Z^0 -бозоны, наблюдались в эксперименте, то для наблюдения X -бозонов, масса которых ожидается порядка 10^{15} ГэВ, необходимая энергия превышает возможности крупнейших ускорителей, планируемых в настоящее время, в 10 трлн раз, что свидетельствует об отсутствии экспериментальной возможности непосредственной регистрации их.

Если считать, что механизм нарушения симметрии $SU(5)$ такой же, как и в случае $SU(2) \times U(1)$, и возникает за счет приобретения вследствие взаимодействия с хиггсовым вакуумным конденсатом X -частицами массы порядка 10^{15} ГэВ, то эффект обмена X -частицами между кварками и лептонами в настоящую эпоху эволюции Вселенной должен быть сильно подавлен, ибо для этого необходимы много большие энергии и малые расстояния, чем в $SU(2) \times U(1)$ -симметрии. Однако, несмотря на то, что, по всей видимости, никогда не возникнет возможности получить X -частицу в лабораторных условиях, существует надежда наблюдения процессов, связанных с обменом X -частицей. Вероятность этого обмена чрезвычайно мала, ибо для этого необходимо, чтобы взаимодействующие частицы оказались в пределах 10^{-29} см друг от друга. Тем не менее, она существует и позволяет предсказать чрезвычайно интересное и важное для нашего стабильного мира событие — распад протона.

Следует отметить, что любой мыслимый процесс распада некоторой элементарной частицы возможен, если он только не запрещен каким-либо законом сохранения. Распад электрона, к примеру, невозможен, ибо все мыслимые каналы распада электрона на более легкие частицы, происходили бы с нарушениями закона сохранения электрического заряда (мы помним, что закон сохранения электрического заряда является следствием глобальной калибровочной симметрии электромагнитного взаимодействия $U(1)$, которая не нарушена). Распад протона на более легкие частицы не нарушал бы закон сохранения электрического заряда, однако противоречил бы закону сохранения барионного числа. Закон сохранения барионного числа означает, что полное барионное число системы сохраняется. Распад протона сопровождался бы переходом из состояния с барионным числом $+1$ в состояние с барионным числом 0 . Надо сказать, что барионное число не меняется ни в сильных, ни в слабых, ни в электромагнитных взаимодействиях. Однако сама проблема преобразования кварка в лептон и наоборот, поставленная в теориях Великого объединения, ставит вопрос о том, что взаимодействия, осуществляемые X -частицами, должны идти с

несохранением барионного числа. Процессы с несохранением барионного числа, помноженные на подходящее нарушение CP -инвариантности, развивают гипотезу, высказанную в 1967 году А. Д. Сахаровым, о возможности вследствие этих процессов, протекающих в неравновесной ранней Вселенной, возникновения преобладания вещества над антивеществом. Установление распада протона явилось бы косвенным подтверждением существования X -частиц и объяснило бы наблюдаемую барионную асимметрию нашей Вселенной. Эксперименты по распаду протона проводятся во многих лабораториях мира. Тот факт, что процесс распада до сих пор не зарегистрирован, свидетельствует о чрезвычайной редкости этого события. Результаты лабораторных исследований позволяют установить нижнюю границу времени жизни протона порядка 10^{33} лет. Для сравнения отметим, что возраст нашей Вселенной составляет 10^{10} лет. Так что в сравнении с ним, протон является стабильной частицей. Следовательно, для регистрации события распада проверяемое вещество должно составлять 10^3 – 10^4 тонн и находиться на определенной глубине в шахте, обеспечивающей защиту от космических лучей. Если проводимые эксперименты так и не дадут ожидаемого результата, то это не явится опровержением идеи Великого объединения, а лишь исключит некоторые варианты его. Впрочем, суперсимметричные теории предсказывают другие каналы распада протона и другое время жизни, находящееся за пределами возможностей эксперимента.

Симметрия электрослабого и сильного взаимодействий в теории Великого объединения предполагает предсказание масштабов объединения, т. е. расстояния, на котором все три константы связи каждого из взаимодействий сольются в одной точке. В 1974 году Джорджи, Квин и Вайнберг показали, как, используя идеи групп перенормировок, можно связать значения констант связи взаимодействий с величиной масс Великого объединения. Сама идея объединения взаимодействий предполагает, что между константами связи должны существовать определенные соотношения. Известно, что константы связи электромагнитного, слабого и сильного взаимодействий не равны друг другу. Однако, учитывая тот факт, что они по-разному изменяются в зависимости от передачи импульса, можно было бы поставить вопрос о возможном равенстве их для определенного значения передачи импульса $|q|$. Подобная постановка вопроса влечет за собой возможность объяснения неравенства констант связи спонтанным нарушением симметрии, а зависимость их от передачи импульса различным поведением виртуальных частиц различных типов вакуумов, проявляющихся вследствие спонтанного нарушения симметрии.

Ранее уже упоминалась особенность калибровочного принципа, состоящая в том, что калибровочное взаимодействие как раз и характерно тем, что прямо пропорционально заряду, соответствующему определен-

ному типу калибровочной симметрии. Заряд калибровочного взаимодействия одновременно определяет и величину заряда элементарной частицы, и величину самого взаимодействия, т. е. константу связи. Так, в электродинамике константа связи, называемая постоянной тонкой структуры, определяется как

$$a = \frac{e^2}{4\pi\hbar c} = \frac{1}{137},$$

где:

e — заряд электрона;

\hbar — постоянная Планка;

c — скорость света.

Самое полное выражение для ковариантных производных, позволяющих построить лагранжиан взаимодействий, инвариантный одновременно или по отдельности относительно калибровочных преобразований во всех соответствующих внутренних пространствах частицы, известных в настоящее время, имеет вид:

$$D^\mu = \partial^\mu - ig_1 \frac{Y}{2} A^\mu - ig_2 \frac{\tau_i}{2} W_i^\mu - ig_3 \frac{\lambda_a}{2} G_a^\mu.$$

Здесь поле A^μ соответствует электромагнитному полю; величина Y — некоторое число, называемое гиперзарядом; W — поля трех векторных бозонов, являющихся переносчиками слабого взаимодействия, соответствующие W^\pm , Z^0 -бозонам; G — поля восьми калибровочных бозонов, ответственных за сильное взаимодействие и соответствующие восьми глюонам; g_1, g_2, g_3 — произвольные вещественные числа, определяющие величины соответствующих взаимодействий. Причем все эти три константы имеют фиксированное значение для различных представлений соответствующих групп симметрий.

При этом элементарный электрический заряд может быть выражен через g_1 и g_2 следующим образом:

$$e = \frac{g_1 g_2}{\sqrt{g_1^2 + g_2^2}}.$$

Вводятся величины:

$$\sin \Theta_W = \frac{g_1}{\sqrt{g_1^2 + g_2^2}}; \quad \cos \Theta_W = \frac{g_2}{\sqrt{g_1^2 + g_2^2}}.$$

Это позволяет выразить константы g_1 и g_2 через заряд электрона и угол Θ , который называют углом «электрослабого смешивания».

Через величины g_1, g_2, g_3 определяют значения констант связи различных взаимодействий:

$$a_1 = \frac{g_1^2}{4\pi}; \quad a_2 = \frac{g_2^2}{4\pi}; \quad a_3 = \frac{g_3^2}{4\pi}.$$

Нами уже упоминалось, что значения a_1, a_2, a_3 зависят от величины передачи импульса при взаимодействиях. При передаче импульса порядка нескольких ГэВ и менее значения a_1, a_2, a_3 слабо зависят от $|q^2|$ и равняются соответственно

$$a_1 = \frac{1}{137}; \quad a_2 = \frac{1}{137}; \quad a_3 = \frac{1}{30}.$$

Константа связи a_3 сильного взаимодействия в интервале передачи импульса от 1 до 100 ГэВ принимает значения

$$a_3 \approx 0,3-0,1.$$

С увеличением $|q^2|$ постоянная тонкой структуры возрастает, и это связано с тем, что поляризация виртуальных электронов и позитронов экранирует электрический заряд исходной частицы, и на более близких расстояниях константа связи симметрии $U(1)$ растет. Симметрия $SU(2)$ и $SU(3)$ являются неабелевыми. Это связано с тем, что кванты этих взаимодействий сами обладают соответствующим взаимодействием зарядом. А для неабелевых симметрий известны такие эффекты как «асимптотическая свобода», что означает уменьшение взаимодействия с уменьшением расстояния, и эффект увеличения взаимодействия с увеличением расстояния вследствие антиэкранировки зарядов частиц зарядами виртуальных W^\pm -бозонов или цветных глюонов. Причем, чем больше группа симметрии, тем мощнее взаимодействие при малых энергиях. Это означает, что константа связи слабого взаимодействия и константа связи сильного взаимодействия уменьшается с увеличением передачи импульса, причем a_3 уменьшается быстрее, чем a_2 . Это связано с тем, что самих бозонов слабого взаимодействия меньше, чем глюонов, и эффект антиэкранировки менее заметен для слабого взаимодействия, нежели для сильного.

Итак, если все три константы изобразить на одном графике в зависимости от передачи импульса $|q^2|$, то можно ожидать значения $|q^2|$, при котором константы будут иметь одно и то же значение (рис. 2).

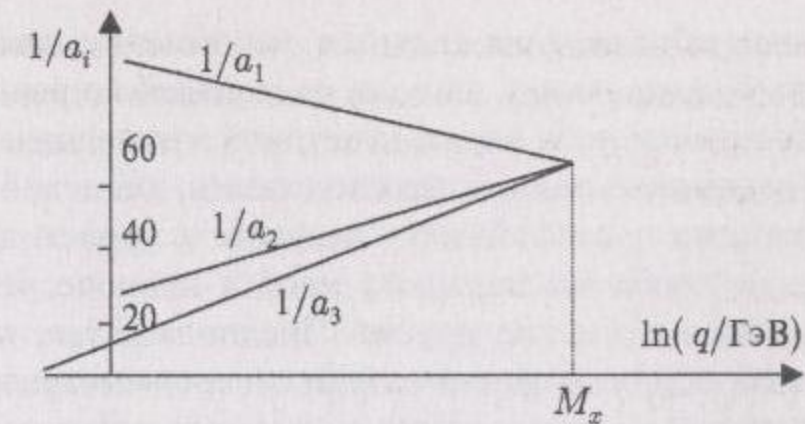


Рис. 2

Это соответствует значению энергии Великого объединения около 10^{15} ГэВ, а масштаб расстояния между ними составляет 10^{-29} см. Соответственно масса X -частиц должна равняться 10^{15} масс протона. Выше значения энергии 10^{15} ГэВ предполагается, что массы заряженного лептона и нижнего кварка в каждом поколении равны друг другу:

$$m_d \approx m_e; \quad m_s \approx m_\mu; \quad m_b \approx m_\tau.$$

При переходе от 10^{15} ГэВ к более низким энергиям вследствие спонтанного нарушения симметрии $SU(5)$ до симметрии $SU(3)$ и $SU(2) \times SU(1)$ происходит более значительное увеличение масс кварков, и теория предсказывает отношение масс типа:

$$m_d : m_e = m_s : m_\mu = m_b : m_\tau = 2,8.$$

Здесь важно подчеркнуть, что подобное отношение масс ароматов частиц характеризует именно Великое объединение и не вытекает из каких-либо теорий другого типа.

Отметим, что в рамках $SU(5)$ симметрии дается объяснение дробности электрического заряда кварков, величина которых объясняется наличием трех цветов кварков, а так же объяснение нейтральности атомов и квантованности электрического заряда.

Как отмечает Г. Кейн: «Исходя только из этого результата, читатель может видеть, почему трудно поверить, что подход ТВО не имеет под собой разумной основы» [72. С. 291].

Помимо симметрии $SU(5)$ разрабатываются и другие варианты Великого объединения, это: $SO(10), SO(18), SO(22), SU(8), SU(11), SU(14), E_6, E_7, E_8$ — симметрии и другие. Некоторые из них предсказывают огромную массу правому нейтрино, вследствие чего он не наблюдается при настоящих энергиях, и маленькую, но все же не равную 0 массу левому нейтрино. Этот вопрос является важным для астрофизики и космологии, поскольку решение его позволило бы пролить свет на секрет, из чего состоит скрытая материя Вселенной, которая должна существовать, ибо требуется для гравитационного связывания галактик и кластеров.

Идея Великого объединения является, несомненно, важным этапом в развитии физики. К сожалению, ни одна из моделей не решает тех вопросов, которые обозначили себя уже в квантовой хромодинамике, в теории электрослабого взаимодействия, и, можно сказать, лишь добавляют новые. Остаются непонятыми и конфайнмент кварков, и происхождение хиггсовского конденсата, и проблема иерархии масс в природе, и проблема киральности фермионов и многие другие. Предполагается, что преодолеть эти трудности удастся при создании теории суперсимметрии.

Все рассмотренные выше группы симметрии естественным образом вписываются в стандартную модель квантовой теории поля. Возникает вопрос о возможности описания в рамках этой модели и гравитационного взаимодействия. Наиболее естественным представляется, и именно такова логика и история развития вопроса, поиск создания квантовой теории гравитационного поля с последующей попыткой объединения его с другими видами взаимодействий. Тем более что гравитационное поле обладает калибровочной природой. А учет квантово-гравитационных явлений, по мнению почти всех специалистов, позволил бы устранить основные трудности, присущие квантовой теории поля, связанные с бесконечностями.

В квантовой теории поля гравитационное взаимодействие интерпретируется как процесс обмена квантами гравитационного поля — гравитонами. Гравитоны несут на себе гравитационный заряд, «гравитируют». Из-за малости константы гравитационного взаимодействия эффекты квантовой гравитации могут оказаться существенными лишь на крайне малых расстояниях. Обычная общая теория относительности описывает гравитационное взаимодействие на достаточно больших расстояниях. Квантовая общая теория относительности работает в дискретном пространстве-времени с фундаментальным временем. В 1901 году М. Планком были введены понятия фундаментальной массы, кванта длины и кванта времени [111. С. 232]. Масса Планка представляет собой комбинацию трех фундаментальных констант: гравитационной постоянной G , постоянной Планка \hbar , скорости света c :

$$m_{Pl} = \left(\frac{G}{\hbar c} \right)^{-1/2} = 10^{19} \text{ ГэВ.}$$

Соответственно фундаментальная длина и квант времени выражаются через массу Планка соотношениями:

$$l_{Pl} = \frac{\hbar}{cm_{Pl}} = 10^{-33} \text{ см;}$$

$$t_{Pl} = \frac{l_{Pl}}{c} = 10^{-43} \text{ с.}$$

При приближении к планковским расстояниям порядка длины Планка гравитационное взаимодействие по силе сравнивается с другими взаимодействиями, и для него существенными становятся квантовые эффекты. Это и являлось основанием точки зрения, согласно которой именно создание квантовой теории гравитации позволит завершить процесс построения единой теории поля. Однако из-за размерности гравитационной постоянной квантовая гравитация отличается от остальных взаимодействий тем, что амплитуда квантовых флуктуаций резко увеличивается с уменьшением размеров области, которую она занимает. Это приводит к бесконечной последовательности расходимостей в уравнениях гравитационного поля. Так что все попытки создания перенормируемой квантовой теории гравитации по стандартной схеме заканчивались неудачей.

И как это часто бывало в истории физики, возможность разрешения трудностей с расходимостями в квантовой теории гравитации возникла как бы неожиданно и с применением несколько иного подхода, а именно с развитием супергравитации. Супергравитация — это теория, построенная на основе общей теории относительности и включающая в себя описание наряду с гравитационным целого набора других полей — бозонных и фермионных, объединенных в единую совокупность на основе принципа суперсимметрии.

Как уже отмечалось, бозоны и фермионы подчиняются различным статистикам. Бозонные операторы соответствуют непрерывным преобразованиям, и для бозонных полей справедливы коммутационные соотношения. Фермионные операторы соответствуют дискретным преобразованиям, для фермионных полей справедливы антикоммутационные соотношения. Собственно, симметрия относительно перестановок тождественных частиц и ведет к разделению их на фермионы и бозоны. Все рассмотренные выше типы симметрий не смешивают частицы с различными спинами.

Таким образом, бозе- и ферми-частицы рассматривались как частицы, имеющие различную природу. В калибровочных теориях это различие снять не удавалось. Бозонные поля являются калибровочными полями, непосредственно и однозначно связанными с определенной группой симметрии теории, фермионные же поля вводятся в теорию достаточно произвольно, как говорят физики, «руками». Тем не менее, формулы для фермионных полей имеют много общих черт, и в рамках охватившей теоретическую физику тенденции к объединению, особенно после попыток объединения различных по цветовой природе частиц вещества — кварков и лептонов в единые мультиплеты, естественной явилась попытка объединения ферми- и бозе-частиц в единые семейства. Результат оказался многообещающим.

Объединение бозонов и фермионов в единые мультиплеты, означает нахождение группы симметрии, называемой, обычно, суперсимметрией, преобразования которой позволяют переходы бозонов в фермионы, и на-

оборот, при инвариантности лагранжиана относительно таких преобразований. И здесь преодолевается главное препятствие: в суперсимметричных теориях удается объединение непрерывных преобразований с дискретными преобразованиями особого типа. Как отмечают авторы [34. С. 554]: «При этом сохраняется формальная аналогия между двумя типами преобразований, имеющих существенно различную природу. Именно наличие этой аналогии является «изюминкой суперсимметрии». Пионерскими в создании суперсимметричных теорий явились работы Ю. А. Гольфанда и Е. П. Лихтмана, представленные ими в начале семидесятых годов [39; 40]. В настоящее время это одно из серьезно прорабатываемых многими школами физиков направлений. Оказалось, что преобразования, связывающие бозон и фермион, примененные повторно, сдвигают частицу в другую точку пространства-времени, т. е. из суперпреобразований получаются преобразования Пуанкаре. Группа Пуанкаре состоит, как известно, из преобразований Лоренца с учетом вращений и сдвигов в пространстве-времени. Так что суперсимметрия оказывается тесно связанной с геометрией, ибо преобразования суперсимметрии расширяют пуанкаре-симметрию пространства-времени. Это позволяет считать ее «более радикальной, чем внутренние симметрии» и рассматривать как пространственную группу симметрии. Как отмечает П. Дэвис: «Математически симметрия (суперсимметрия. — Л. М.) соответствует извлечению корня из симметрии Лоренца—Пуанкаре. Физически же она соответствует превращению фермиона в бозон. Математический аппарат суперсимметрии получил название квадратного корня из геометрии» [50. С. 158]. С другой стороны, локальная симметрия относительно преобразований Пуанкаре, как известно, приводит к общей теории относительности. А это обеспечивает связь между локальной суперсимметрией и квантовой теорией гравитации, которые рассматриваются как теории, имеющие общее содержание. Уже в простейших суперсимметричных моделях наблюдается резкое сокращение расходимостей, что сразу определило направление развития квантовой теории гравитации в рамках суперсимметрии, т. е. в направлении создания теории супергравитации.

Следует отметить, что в современных суперсимметричных теориях не удается объединить в единый супермультиплет известные бозоны (калибровочные и хиггсовские) и фермионы (лептоны и кварки). Число фундаментальных частиц удваивается так, чтобы каждому бозону (соответственно, каждому фермиону) соответствовал бы партнер, во всем тождественный бозону (фермиону), кроме спина. Название для партнеров бозонов составляют из названия частицы с добавлением окончания «ино». Так, фотону соответствует фермион «фотино», W -частице — «вино», Z -бозону — «зинно», глюону — «глюино» и т. д. Все партнеры бозонов, являясь фермионами, должны иметь спин, равный $1/2$. Название для партнеров фермионов

составляют из названия частицы добавлением приставки «с». Так, электрону соответствует бозон «с-электрон», нейтрино — «с-нейтрино», кваркам — «с-кварки». Эти бозоны должны иметь спин, равный 0. Хиггсовским бозонам со спином 0 должен соответствовать суперпартнер хиггсина со спином $1/2$. Соответственно, и супергравитация отличается от квантовой теории гравитации тем, что в ней гравитону — переносчику гравитационного взаимодействия со спином 2 — соответствует фермион «гравитино» со спином $3/2$. Таким образом, можно сделать вывод о том, что в процессах суперсимметричных партнеров рождаются парами. Возникает проблема о поисках суперпартнеров на ускорителях. Главное, что суперпартнеры порождают в теории расходимости противоположного знака, по сравнению с расходимостями, обусловленными их партнерами, что приводит, как предполагается, к уничтожению бесконечных членов. Конкретное число частиц суперсемейства зависит от математического представления суперсимметрии. Перспективным представляется подход, в котором рассматриваются пространство-время со многими измерениями.

Очевидно, что в реальном мире суперсимметрия является нарушенной. Возможно, речь должна идти о спонтанном характере ее нарушения. Если в природе реализуется именно этот вариант нарушения суперсимметрии, то возникновение масс у частиц также описывается механизмом Хиггса. К сожалению, пока не существует удовлетворительной спонтанно нарушенной суперсимметрии.

Достоинством суперсимметрии является то, что она ставит вопрос об объединении внутренних симметрий с геометрическими. Если симметрии различных моделей взаимодействия элементарных частиц имеют вид прямого произведения групп внутренних симметрий на группу Пуанкаре, то в рамках суперсимметрии делается попытка нахождения групп симметрии, в которой внутренние симметрии встраивались бы в пространственные, а геометрия пространства-времени диктовала бы динамику теории. На этом пути предполагается объединение всех четырех типов взаимодействий единым суперполем (что включает в себя создание квантовой теории гравитации и определение единой константы Великого объединения). Это, по существу, проблема геометризации физики, где старая философская проблема о взаимоотношении материи и пространства-времени оказывается на более высоком, содержательном витке познания. Это вновь привлекло внимание физиков к работам Т. Калуца и О. Клейна, сделавшими первые шаги в этом направлении.

Как уже отмечалось, первые попытки создания единой теории поля, объединяющей гравитацию и электромагнетизм, были предприняты Г. Вейлем. Эти попытки основывались на поисках единого геометрического подхода в описании обоих типов взаимодействий в рамках четырехмерного пространства-времени. Это стремление в дальнейшем было развито

Теодором Калуца, предположившим, что объединения возможно добиться, распространив локальную пуанкаре-инвариантность на пятимерное пространство-время. Так, расширенное пятимерное пространство-время может рассматриваться как общее ковариантное 4-мерное пространство с локальной $U(1)$ инвариантностью (электродинамикой) в этом же 4-мерном пространстве-времени [187]. В теории Калуца рассматривался пятимерный цилиндрический мир с пятым пространственно подобным измерением. Калуца получил свои результаты для случая слабых полей и малых скоростей. В 1926 году О. Клейн устранил эти ограничения, показав, что унификация не связана со слабыми полями и малыми скоростями [188]. Таким образом, была сформулирована теория, получившая название теории Калуца—Клейна, основное содержание которой состоит в геометризации внутренних симметрий. Пятое измерение здесь компактифицируется и проявляется электромагнитным полем со своей симметрией. Мы не замечаем пятое измерение как пространственное, ибо оно свернуто, компактифицировано до очень малых масштабов, размеры которых много меньше размеров ядра и других исследуемых в физике структур. По оценкам Клейна, периметр пятого измерения достигает 10^{-32} см. В 1924 году де Витт получил, что возможно допущение более одного дополнительного измерения. Однако сама по себе последовательная геометризация всех внутренних симметрий согласно идее Калуца—Клейна была невозможна до возникновения суперсимметричных теорий как раз по той причине, что из метрики удавалось получить только бозонные поля, в то время как окружающее нас вещество состоит из фермионов. Но в теории суперсимметрии ферми- и бозе-частицы рассматриваются как равноправные, объединенные в единые супермультиплеты. Именно в суперсимметричных теориях идея Калуца—Клейна особенно привлекательна. Калибровочные поля приобретают здесь конкретное содержание: рассматриваются как геометрические симметрии, связанные с дополнительными измерениями пространства-времени. Иными словами, калибровочные теории проявляют себя здесь как следствия многомерной общей теории относительности.

Современный вариант теории Калуца—Клейна постулирует Вселенную с 11-ю измерениями (максимальная размерность пространства-времени, при которой может быть построена супергравитация, равна 11). В случае Вселенной с 11-ю измерениями предполагается, что семь из них компактифицированы до очень малых масштабов. Подобный подход приводит к новому взгляду на структуру пространства-времени. Мечтой А. Эйнштейна, вспоминает Дж. Уилер, являлась возможность «объяснить все явления физического мира как проявления пустого искривленного пространства» [139. С. 20]. Глубокая мысль о геометрическом происхождении динамики сохраняет свою силу в теориях, опирающихся на идею Калуца—Клейна. Общая теория относительности определяет геометрию пространства-вре-

ни, решая вопрос, в основном, о его метрике. При этом в стороне оставался вопрос о топологии пространства-времени. Уравнения поля в ОТО не дают каких-либо предсказаний относительно глобальной топологии. Сам по себе локальный характер полевых уравнений в ОТО предполагает возможность различных видов локальных топологий. Компактификация же, тем более нескольких измерений, усиливает этот аспект, ибо может быть произведена лишь различными способами, реализующими топологии. Причем набор возможных топологий многообразен. Топология и метрика компактных «внутренних пространств» определяется состоянием вакуума. Одна из основных идей в теориях Калуца—Клейна — это механизм спонтанной компактификации. Суть ее состоит в следующем: в d -мерном пространстве-времени рассматриваются уравнения, описывающие гравитационное поле, возможно, взаимодействующие с полями материи. Имеется решение специального вида — вакуумное решение этих уравнений, отвечающее представлению d -мерного многообразия в виде

$$M^d = M^4 \times B^{d-4},$$

где:

M^4 — четырехмерное пространство-время;

B^{d-4} — компактное «внутреннее» пространство.

Лейтмотивом в поисках причин спонтанной компактификации в теории является уверенность, что физическая система стремится к состоянию с наименьшей энергией. Таким образом, спонтанная компактификация оказывается взаимосвязанной с идеей спонтанного нарушения симметрии, что, в свою очередь указывает на наличие помимо фермионных и калибровочных полей, скалярных полей. Именно скалярные поля обеспечивают механизм Хиггса при спонтанном нарушении симметрии. Спонтанное нарушение суперсимметрии имеет свои особенности. Как стало уже понятно, нарушение симметрии связано с вопросами о топологии суперпотенциала. Глобальные свойства суперпотенциала, играющие роль топологических характеристик, определяют существование уровней с нулевой энергией в вакууме (нулевых мод). Связь уравнений с нулевой энергией с топологией положена в основу нахождения критериев спонтанного нарушения суперсимметрии. Можно ожидать, что угаданные правильно метрика и топология нулевых мод позволят создать теорию суперобъединения с использованием идеи Калуца—Клейна, в рамках которой решились бы вопросы конфайнмента кварков, иерархии масс, невырожденности по массам бозонов и фермионов, киральности фермионов и другие. Уже сейчас в теории имеется результат согласно которому дополнительные измерения при низких энергиях, соответствующих современному состоянию Вселенной, проявляются в виде взаимодействия безмассовых частиц. При этом нулевые

моды калибровочных хиггсовых и фермионных полей в теории Калуца—Клейна возникают как компоненты метрики. Для построения теории, согласующейся с уже имеющимися достижениями и разрешающей неразрешенные проблемы физики высоких энергий, важен выбор адекватной метрики и топологии четырехмерного пространства-времени и компактных «внутренних» пространств. Направление исследований состоит в получении теории, соответствующей реальности и содержащей $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ — подгруппы, что, возможно, потребует рассмотрения более сложных вакуумных решений и более сложной топологии. Несмотря на явные достоинства многомерной супергравитации, важные вопросы в ее рамках, так и остаются нерешенными. Основная причина состоит в том, что попытки включения гравитации в формализм квантовой теории приводит к чрезвычайно большим флуктуациям структуры пространства на расстояниях, меньших планковской длины. Надежда на понимание и решение рассматриваемых проблем возникла с появлением теории *суперструн*.

§ 2.5. Суперструны

Суперструна — это новая физическая модель. Здесь представления о точечных частицах заменяются многомерными суперструнами, имеющими размеры порядка планковской длины l_{pl} . Первоначально модели струн использовались при попытке объяснения явления конфайнмента кварков. Однако в 1974 году Шерк и Дж. Шварц показали существование странных мод колебаний струны, которые они идентифицировали со свойствами гравитонов. Таким образом, стало понятно, что теория струн — не просто теория сильного взаимодействия, а квантовая теория, включающая в себя гравитацию. Грин и Шварц [178] показали, что на основе теории суперструн можно построить самосогласованную теорию квантовой гравитации, ибо бесконечности при высоких энергиях в определенном классе теорий суперструн полностью исчезают. Еще одно важное свойство этой теории — устранение аномалий. Дело в том, что в теориях типа Калуца—Клейна, в которых появляются киральные фермионы, возникают аномалии, приводящие к нарушению калибровочной инвариантности. Различают киральные аномалии калибровочных полей и гравитационные аномалии, отвечающие нарушению общекоординатной инвариантности в пространстве размерностью более 4. Теория с аномалиями считается несогласованной. Оказалось, что в моделях суперструн в 10 измерениях удастся избавиться и от расходимостей, и от аномалий. Кроме этого, из теории суперструн устраняются частицы-тахiony, которым приписывалась отрицательная масса и сверхсветовые скорости.

Характерная черта струны — наличие многих степеней свободы, чего нет у такого теоретического объекта как материальная точка. Это оп-

ределяет поведение суперструн: при низких энергиях они ведут себя аналогично точечным частицам; при высоких энергиях, порядка планковских, струны «вибрируют». Как уже отмечалось, характеристики одной из мод струны совпадают с характеристиками гравитона. В современной теории каждая частица вещества и каждый квант представляют собой те или иные моды колебаний струн. Константы различных типов взаимодействий определяются типом колебаний струны. Отсюда напрашивается вывод, что представленная в предыдущем параграфе классификация элементарных частиц, базирующаяся на представлении об отсутствии у элементарных частиц внутренней структуры, неполна. Каждая элементарная частица представляет собой отдельную колеблющуюся струну; различие между частицами обусловлено различными модами резонансных колебаний этих струн. Итак, в современной физической теории в качестве фундаментального объекта мироздания выступает струна, единственным калибровочным параметром которой является ее натяжение. Это, в свою очередь, устанавливает определенный предел для размеров струны: в отличие от точечной частицы струна сжимается до минимального значения, равного планковской длине. В теории суперструн получен важный результат, согласно которому бурные квантовые флуктуации на субпланковских расстояниях не существуют. Как отмечает Б. Грин, «Предполагаемые флуктуации структуры пространства в масштабе субпланковских расстояний связаны исключительно с формулировкой общей теории относительности и квантовой механики в рамках модели, основанной на точечных частицах» [43. С. 109].

До 1995 года разрабатывались пять различных, как тогда казалось, версий теории суперструн. Суперструны типа I могли быть с открытыми концами или замкнутыми. В работах Бринка, Грина и Шварца развита идея суперструн-II, которые являются только замкнутыми. В свою очередь суперструны-II бывают двух типов: струны типа II A и струны типа II B. В теории типа II B все частицы имеют одну киральность (колебательные возбуждения вдоль струнной петли по часовой стрелке и против часовой стрелки идентичны), в теории типа II A киральность частиц разная (колебательные возбуждения вдоль струнной петли по часовой стрелке и против часовой стрелки противоположны). Теория типа I аналогична теории типа II B, за исключением того, что в ней рассматриваются наряду с замкнутыми также и открытые струны. Использование суперструн резко ограничивает выбор разрешенных калибровочных групп, в отличие от суперсимметрии с использованием точечных объектов. Суперструны накладывают ограничения и на размерность пространства. В теории суперструн расходимости сокращаются при фиксированной размерности пространства-времени: в теории бозонных струн размерность должна равняться 26, а в теории фермионных струн — 10. Отметим, что колебания против часовой стрелки

совпадают с колебаниями теории бозонных струн. Гетеротические струны представляют системы, в которых колебательные моды против часовой стрелки имеют 26 измерений, а колебательные моды по часовой стрелке — 10 измерений. Рассматривается первоначальная компактификация 16 дополнительных измерений бозонных струн до 10-мерного пространства-времени, а затем происходит компактификация 6 измерений бозонных и фермионных струн до 4-мерного пространства-времени. Сокращение расходимостей аномалией приводит к калибровочным группам суперсимметричной теории, которая должна в точности содержать 496 генераторов, а это выделяет две гетеротические группы: $SO(32)$ или $E_8 \times E_8'$. Отметим, что удвоенная группа $E_8 \times E_8$ открывает богатый простор для фантазий. Группа E_8 описывает калибровочные взаимодействия обычных частиц нашей Вселенной, группа E_8' — описывает другой «потусторонний» мир зеркальных двойников обычных частиц. У зеркальных двойников будет существовать свой идентичный набор взаимодействий. Предполагается, что симметрия E_8 нарушается до симметрии E_6 , которая, в свою очередь содержит $SU(5)$ -симметрию, в то время, как E_8' остается ненарушенной. Таким образом, первоначальная симметрия между частицами и их двойниками оказывается нарушенной, между частицами обеих миров, назовем их условно, реальным и потусторонним, не будет прямого взаимодействия, за исключением гравитационного.

До 1995 года развитие теории суперструн в рамках идеи Калуца—Клейна отдавало предпочтение 10-мерному пространству. При том, что именно в пространстве с четным числом измерений можно получить киральную Вселенную, содержащую в себе асимметрию между левыми и правыми фермионами. Однако в современной теории суперструн стало понятно, что размерность пространства-времени равна 11. Важным результатом явилось доказательство того, что дополнительные пространственные измерения теории струн не могут быть компактифицированы произвольным образом, а должны образовывать пространство Калаби—Яу. Типичное многообразие Калаби—Яу содержит отверстия, с каждым из которых связано определенное семейство колебаний с минимальной энергией. Это прокладывает дорогу к решению проблемы существования трех семейств-поколений элементарных частиц. Кроме того, здесь появляется возможность для объяснения возникновения масс у частиц, т. е. для раскрытия физической сущности механизма Хиггса. С 1995 года наступило второе дыхание в исследовании струнной теории благодаря новому методу исследования, предложенному Виттеном и получившему название «дуальности». Использование метода «дуальности» позволило объединить все рассмотренные пять струнных теорий в рамках одной М-теории, которая декларирует наличие одиннадцати измерений (десять пространствен-

ных и одно временное) и которая включает в рассмотрение не только струны, но и двумерные мембраны, трехмерные капли и, в конечном итоге, k -браны. Открытие зеркальной симметрии привело к представлениям о «флоп-перестройках» пространства, т. е. возможности разрыва пространства с его последующим склеиванием, что означало бы переходы с изменением топологии пространства. Подробно об этом можно прочитать в замечательной книге Брайана Грина, внесшего большой личный вклад в развитие струнной теории, под названием «Элегантная Вселенная» [43], а также в [67]. Мы же сконцентрируем внимание на следующем весьма нетривиальном выводе: тенденции в построении единой теории указывают на то, что она может быть создана только на фундаменте геометризации физики. Тот факт, что в суперсимметричных теориях, базирующихся на теории Калуца—Клейна и суперструнах, всевозможные виды симметрии удается свести к геометрическим, говорит о том, что все поля, частицы и их характеристики получают здесь геометрическую интерпретацию. Частицы рассматриваются как возбуждения пространства s , как сейчас предполагается, 11-мерной геометрией. Таким образом, современный этап развития физики характеризуется реализацией фундаментальной идеи Эйнштейна о геометрической природе физической реальности, с учетом особой роли физического вакуума. «Мир, в конечном итоге, окажется слепком абсолютной пустоты, самоорганизованным вакуумом», — отмечает П. Дэвис [50. С. 178]. Все это по-новому заставляет взглянуть на старую философскую проблему об отношении материи и пространства-времени. Надо сказать, что проблема эта находит свое решение в рамках диалектической концепции целостности с выявлением особой роли физического вакуума, как материального объекта, формирующего геометрию самоорганизующейся Вселенной. Подробный анализ этого вопроса будет предложен в следующей главе после обсуждения космологических аспектов эволюции нашего мира.

§ 2.6. Современная космология

Космология — наука о возникновении и эволюции Вселенной. Едва ли можно указать область знания, имеющую столь же древнее происхождение. Вопрос о мироустройстве, миропорядке, что означает само слово космос, о месте человека в этой системе, был поставлен на заре человеческой культуры. Сегодня мы ведем речь о полном слиянии космологии и физики элементарных частиц. Произошла «стыковка» проблем, решаемых в этих (еще недавно казавшимися слабо пересекающимися) областях знания. Означает ли это, что современная космология полностью поглотит физическую науку, а вслед за ней и другие? Или же, наоборот, предмет исследования космологии размывается в астрономии, астрофизике, физике

элементарных частиц и т. д.? До недавнего времени существовала точка зрения, разделяемая достаточно большим количеством ученых, о том, что космология вообще не является наукой в собственном смысле этого слова, ибо в ней всегда присутствуют элементы научной фантастики. Между тем в XX веке космология складывается в концептуально единую научную область знания благодаря, в первую очередь, созданию общей теории относительности Эйнштейна. Именно этой эпохе космология обязана своей теоретической базой, своими основными открытиями и прогнозами. Обсуждение состояния дел в современной космологии представляет интерес для нас, перешагнувших за рубеж веков.

Достаточно трудно определить, кто из великих древнегреческих мыслителей впервые использовал слово *cosmos* для определения единого порядка мира. Можно привести фрагменты из творчества Анаксимена, Пифагора, Гераклита и других их современников, где это слово используется не просто как языковая единица, а как термин, имеющий уже вполне конкретное содержание. А. Н. Павленко [104], исследуя данную проблему, выделяет две семантические линии использования этого термина: 1) как «порядок» и «устройство мира»; 2) как красоту и гармонию. Можно утверждать, что с развитием человеческой мысли произошло слияние этих двух линий, вернее, снятие второй в первой: мир должен быть устроен по принципам красоты и гармонии. Практически все древнейшие мыслители давали свое решение космологической проблемы: эта Вселенная вертикальной структуры Гомера и Гесиода; сферическая, строго симметричная Вселенная Анаксимандра, окруженная огненной оболочкой, с цилиндрической неподвижной Землей; плоская столообразная Земля Анаксимена, «оседлавшая» воздух; шарообразная Земля Парменида, покоящаяся в центре Вселенной. Это и модель космоса Анаксимандра, который подобно живому существу, зарождается и развивается под действием противоположных сил, подчиненных мировому закону равновесия и справедливости [120. С. 150]; и первичная огненная единица в центре мира в космологии пифагорейцев, играющая роль семени, из которого вырос космос; и космообразование согласно разделению первичной смеси с помощью нуса, и дальнейшее стремление частиц к соединению с подобными по Анаксагору; и космос, возникший из атомов, первоначально носившихся за пределами космоса в философии Демокрита, как случайное образование в бесконечном и безразмерном пространстве, включающем в себя бесчисленное множество миров; и космос Платона, созданный высшей творческой силой, гладкая по форме сфера, в центре которой находится душа. Это вечный и неизменный космос Аристотеля с двумя мирами — подлунным и надлунным, в первом из которых пространство неоднородно и движение происходит от одной выделенной точки к другой, во втором — надлунном — мире тела качественно неизменны, движение тел — совершенно, только круговое, безостановочное, вечное,

первопричиной которого выступает обожествленный разум. Читатель, хорошо знакомый с учениями древних греков, без труда заметит, что многообразие предлагаемых ими моделей является следствием основ их учений. Ряд авторов в связи с достижениями современной космологии указывают на параллели между новейшими результатами науки в этой области и взглядом на космос древних мыслителей. Вряд ли это может вызывать возражение, ибо потому и остается для любого серьезного ученого древнегреческий феномен столь привлекательным, что здесь содержатся многочисленные предвосхищения будущих научных результатов. Но все они остаются лишь догадками, пусть дерзновенными и гениальными, но догадками, никак не претендующими на истинно научный статус. Важно другое: «сущностное сходство в самой теоретичности подхода» [104. С. 10]. Однако оставим за рамками настоящей книги предысторию возникновения научной космологии и попытки обоснования ее периодизации, отсылая читателя к работе [95], сосредоточив свое внимание на важнейшей вехе в истории космологии — создании в 1916 году общей теории относительности (ОТО). ОТО знаменует собой генезис теоретической космологии, о которой можно теперь говорить как о науке в прямом смысле.

В общей теории относительности метрика пространства-времени искривляется (искажается) объектами, обладающими энергией и импульсом, содержащимися в пространстве-времени. Соответственно, и уравнения общей теории относительности должны устанавливать закон зависимости между математическим описанием источников вещества и силовых полей, искривляющих пространство-время (тензор энергии-импульса), и геометрическими характеристиками пространства-времени (метрикой, связностью и кривизной). Таким образом становится очевидно, что общая теория относительности своей задачей имеет самосогласованное описание материи и геометрии пространства-времени, что приобретает особую остроту, как это подчеркивалось в вышеизложенном материале, на современном этапе развития физической науки.

Согласно идеологии ОТО гравитация должна создаваться всеми перечисленными выше квантованными полями. И как верно отмечают авторы [82. С. 81]: «Под самосогласованием имеется в виду, что гравитация создается квантовыми полями стандартной модели, а динамика квантовых полей в пространстве-времени в свою очередь в принципе учитывает и гравитационное взаимодействие. Полное описание этой физической ситуации, конечно, возможно только тогда, когда гравитационное поле тоже рассматривается с последовательно квантовых позиций. В общем случае, конечно, необходимо иметь в виду, что геометрические объекты — метрика, связность и кривизна подвержены квантовым флуктуациям так же, как и характеристики кварков, лептонов и силовых полей». Однако синтез общей теории относительности и квантовой теории поля по настоящее

время не осуществлен, хотя теоретические поиски и подвижничество ученых, работающих в этом направлении, огромны. Можно утверждать, что научная космология с момента своего возникновения и по настоящее время находится, выражаясь словами Томаса Куна, в стадии «нормальной науки». Таким образом мы констатируем наличие одного периода развития научной космологии, в котором, тем не менее, имеются этапы, представляющие собой смену онтологий.

При выделении этапов в развитии космологии целесообразно использовать принцип преобразования онтологий. Как отмечает В. А. Окладной: «Смена онтологий — совокупности явлений, свойств и отношений, которым придается статус реального существования, является одной из закономерностей перехода от старой теории к новой» [103. С. 51]. Применение принципа преобразования онтологий позволяет выделить три этапа в развитии научной космологии. Первый этап связан с решениями уравнений общей теории относительности, получением различных вариантов решений, предоставляющих в качестве теоретических моделей-гипотез определенную основу для экспериментального обоснования тех или иных положений. Господствующей моделью строения Вселенной на этом этапе становится фридмановская модель расширяющейся Вселенной. Второй этап ознаменован открытием реликтового излучения (1965 год) и господством модели, в основе которой лежит теория Большого взрыва. Третий (современный) этап — это разработка инфляционных сценариев эволюции Вселенной и попытки построения квантовой теории гравитации. Рассмотрим каждый из этих этапов более подробно.

В 1917 году А. Эйнштейн делает попытку применить общую теорию относительности ко всей Вселенной, построить общерелятивистскую космологическую модель. Нужно отметить, что существовали альтернативные космологические решения уравнений ОТО. Все они представляли собой результаты теоретизирования. Казалось, что экспериментальное обоснование тех или иных моделей будет затруднительно. Тем не менее экспериментальное подтверждение одной из предложенных моделей не заставило себя долго ждать, — ей оказалась фридмановская модель расширяющейся Вселенной. Таким образом было достигнуто экспериментальное подтверждение онтологического статуса одной из конкурирующих моделей, что утвердило определенную онтологию в теории, обозначив первый этап научной космологии.

Космологическая модель, предложенная Эйнштейном, — модель статичной Вселенной. В поисках статического решения для Вселенной Эйнштейн вводит в свои уравнения добавочное слагаемое, так называемую космологическую постоянную Λ , которая должна была выражать собой гравитационное отталкивание, призванное скомпенсировать гравитационное притяжение. Таким образом, удавалось получить статическое решение

для Вселенной, обладающей нулевым давлением. В эйнштейновской модели получается бесконечная во времени, но конечная в пространственных сечениях Вселенная, что вносит свои коррективы в космологическую модель Ньютона.

В 1917 году голландским ученым де Ситтером было предложено другое решение уравнений общей теории относительности. Плотность вещества в этой модели оказывалась равной нулю. Одним из вариантов модели де Ситтера является плоская Вселенная, масштаб пространства которой растет по экспоненциальному закону. Таким образом, была предложена модель расширяющейся Вселенной. Первоначально модель де Ситтера не получила должной оценки по той причине, что в ней не содержалось вещество. Впоследствии именно идея о том, что если из Вселенной удалить вещество, останется только отталкивание, оказалась руководящим принципом современных космологических теорий и составило ведущую парадигму на третьем этапе развития научной космологии.

В 1922–1923 годах А. Фридманом были получены решения общей теории относительности для пространственно однородной, изотропной, но нестационарной Вселенной, расширяющейся в настоящую эпоху. В 1929 году был получен экспериментальный результат, свидетельствующий о нестационарности Вселенной. Слайфером и Хабблом было обнаружено, что свет от удаленных галактик смещается в сторону более длинных волн. Было открыто, так называемое «красное смещение», интерпретировать которое можно было лишь как свидетельство удаления, разбегания галактик. Это экспериментальное подтверждение модели Фридмана привело к изменению онтологической картины мира, — на смену статичной неподвижной Вселенной пришла Вселенная нестационарная и эволюционирующая. Таким образом, возникновение общей теории относительности поставило космологию на научную основу, обозначив эмпирическую и теоретическую стороны ее исследований. Появилась возможность определить свойства Вселенной — ее крупномасштабную однородность, изотропность, скорость расширения, плотность материи в ней, структурность пространства-времени и т. д., получить не умозрительным путем, а как следствие математических уравнений. Немаловажное значение имеют также развитие релятивистской астрофизики и открытие благодаря внедрению новейшей техники новых астрономических объектов, таких как квазары (в конце 1950-х годов), пульсаров (в 1968 году) и др.

Из решений уравнений Фридмана вытекает существование в прошлом Вселенной особенной точки — сингулярности, согласно чему в момент времени $t = 0$ вся материя должна быть сконцентрирована с огромной плотностью $\rho = \infty$ с температурой большей 10^{19} ГэВ в одной точке. Таким образом, предполагается существование в прошлом Вселенной плотной и горячей фазы, — эпохи «большого взрыва». Однако существовала и альтернативная этой

точка зрения, согласно которой Вселенная эволюционировала из суперхолодного состояния. В 1965 году американскими радиоастрономами А. Пензиасом и Р. В. Вилсоном был зарегистрирован радиошум на длине волны 7,35 см, эквивалентная температура которого лежит в диапазоне от 2,5–3,5 К. Пибблз предложил теоретическое обоснование полученных результатов. Он показал, что Вселенная на ранних этапах должна была быть заполнена излучением огромной температуры и очень коротких длин волн, обеспечивающих нужную скорость протекания ядерных реакций, соответствующих современному состоянию Вселенной. Излучение это должно было выжить в процессе расширения Вселенной, вследствие которого температура его должна постепенно понижаться, так что сегодня мы регистрируем «реликтовое» излучение как раз той температуры, которую предсказывает теория.

Существование реликтового излучения было предсказано еще в 1948 году Г. Гамовым, Р. Альфером и Р. Херманом при развитии ими на основании фридмановской модели Большого взрыва теории нуклеосинтеза. Таким образом в космологии утверждается второй этап ее развития, знаменующий уточнением онтологии расширяющейся Вселенной фактом существования в ее прошлом эпохи Большого взрыва.

Благодаря открытию реликтового излучения в космологии было получен экспериментальный результат, давший ученым основание для следующего утверждения: «То, что вещество Вселенной было в прошлом сверхплотным и горячим, установлено надежно и пересмотру не подлежит, как и теория расширяющейся Вселенной» [101. С. 111]. Однако теория горячей Вселенной на повестку дня выдвинула ряд космологических проблем, решение которых стимулирует научный поиск по сей день.

И первая в этом ряду — **проблема о сингулярном начале** Вселенной. В 1970 году Хокингом и Пенроузом [109. С. 364] были доказаны теоремы, показывающие, что в рамках фридмановских моделей должна существовать в прошлом Вселенной сингулярная точка, в которой в начальный момент времени $t = 0$ плотность материи должна равняться бесконечности.

Следующие проблемы — это проблема значения космологической постоянной Λ ; проблема плоскостности Вселенной; проблема крупномасштабной однородности и изотропности Вселенной; проблема ее мелкомасштабной неоднородности; проблема горизонта; проблема барионной асимметрии Вселенной. Рассмотрим эти проблемы подробнее.

Проблема плоскостности. Следствием астрономических наблюдений является вывод о том, что галактики удаляются с относительными скоростями, прямо пропорциональными расстоянию, разделяющими галактики. Закон расширения Хаббла позволяет оценить критическую плотность Вселенной. Обсуждаемая проблема плоскостности состоит в том, что в планковский момент времени Вселенная имела плотность с фантастической точностью равной критической (то есть скорость отрыва галак-

тики от некоторого центра в точности равна скорости галактики, задаваемой законом Хаббла). Если бы плотность была бы чуть больше критической (на $10^{-55} \rho_{кр.}$), то к настоящему времени Вселенная давно сколлапсировала (это модель замкнутой Вселенной). Если бы плотность Вселенной в планковский момент времени была меньше $\rho_{кр.}$ (на $10^{-55} \rho_{кр.}$), то современная плотность вещества во Вселенной была бы исчезающе малой, и зарождение жизни во Вселенной было бы невозможным, т. е. космологические теории должны объяснить, почему начальные условия оказались такими, что Вселенная смогла дожить до настоящего времени.

Проблема крупномасштабной однородности и изотропности Вселенной. Существуют надежные свидетельства (по регистрации фонового реликтового излучения) о том, что Вселенная в крупных масштабах, превосходящих размеры галактик, т. е. порядка 10^{23} м, чрезвычайно однородна и изотропна.

Проблема мелкомасштабной неоднородности Вселенной. Уже в начале эволюции должны существовать значительные «затравочные» неоднородности плотности, чтобы впоследствии возникли галактики. При этом важно своевременное появление требуемых возмущений в надлежащем масштабе и с надлежащей плотностью, достаточной для образования галактик, но при этом не настолько большой, чтобы вызвать катастрофический гравитационный коллапс с образованием черных дыр.

Проблема горизонта. В простейшем случае размер горизонта Вселенной принимается равным ct , где c — скорость света, t — время существования Вселенной. Изучение реликтового излучения показывает, что Вселенная была с большой точностью однородна и изотропна в масштабах, превышающих ct . Объяснение этого факта, учитывая, что причинно-несвязанные области, превышающие размер горизонта, никак не могут воздействовать друг на друга, называют проблемой горизонта.

Проблема барионной асимметрии. Суть проблемы составляет вопрос, почему Вселенная состоит из вещества (барионов) и почти нет антивещества (антибарионов), хотя маловероятно, чтобы вещество и антивещество в ранней Вселенной могли бы быть изолированы друг от друга. Скорее, имел место процесс их взаимной аннигиляции. Значит, либо во Вселенной имелся изначально дисбаланс между веществом и антивеществом в сторону преобладания вещества, либо Вселенная эволюционировала из полностью симметричного по отношению к веществу и антивеществу состояния, но на некотором этапе процессы в ней шли с несохранением барионного числа, что и привело к выживанию барионов после аннигиляции. В процессе аннигиляции вещества и антивещества должны выделяться γ -кванты (фотоны), наблюдаемые в настоящее время как реликто-

вое излучение. Другой стороной проблемы должно быть также объяснение отношения числа барионов к числу фотонов во Вселенной, — N барионов/ N фотонов, равному примерно 10^{-9} , которое интерпретируется в рамках гипотезы нарушения барионного числа как разность избытка вещества над антивеществом в ранней Вселенной. В 1967 году А. Д. Сахаров связывает идею несохранения барионного числа с теорией горячей Вселенной. В современных теориях Великого объединения и в рамках инфляционной космологии идея Сахарова полностью сохраняет свое значение.

Проблема космологической постоянной (Λ -член). Космологическая постоянная была введена Эйнштейном в уравнения общей теории относительности с целью получения статического решения для Вселенной. Космологическая постоянная должна была выражать собой некоторую космическую силу, противостоящую гравитационному притяжению, что и позволяло получить статическое решение для Вселенной с нулевым давлением. Таким образом, отрицательный вклад в полное давление должна вносить именно эта космическая сила.

После получения уравнений Фридмана, Эйнштейн сам убрал космологическую постоянную из общей теории относительности. Модель Фридмана не требует введения космологического члена, ибо если Вселенная нестационарна, то нет необходимости в сбалансировании гравитационного притяжения. Рассматриваемая проблема состоит в том, что запросто отбросить космологический член из теории невозможно: любой вклад в энергию вакуума действует в точности как космологическая постоянная, ибо оказывается пропорциональным плотности энергии вакуума.

Пространственно-однородные и изотропные фридмановские модели являются удачными для описания крупномасштабной структуры Вселенной, но при этом они не отражают ее мелкомасштабной неоднородности. Таким образом, встает вопрос о поиске новых моделей или же об исследовании отклонений от моделей Фридмана.

К восьмидесятым годам XX века на одной чаше весов оказались бесспорные преимущества, на другой — неразрешенные проблемы, даваемые фридмановской космологией. На всем протяжении рассмотренных выше этапов развития космологии постоянно стояла проблема создания квантовой теории гравитации. ОТО, являясь классической теорией, достаточно хорошо описывала эволюционные процессы в космологии и астрофизике. Однако осознание того, что Вселенная должна иметь сингулярное начало, а также изучение физики черных дыр явно указывали на необходимость учета квантовых эффектов. Таким образом, проблема создания теории квантовой гравитации перешли из стадии академического интереса в стадию насущной необходимости.

Попытка решить проблему сингулярности была предпринята в 1979–1980 годах А. Старобинским. В основу модели А. Старобинско-

го [130] было положено решение де Ситтера с экспоненциально расширяющимся масштабом пространства и с правой частью уравнений Эйнштейна общей теории относительности, содержащей Λ -член. Напомним, что в модели де Ситтера реальное вещество и излучение на начальной стадии эволюции отсутствует, Вселенная представляет собой однородный вакуумный мир планковских размеров. В модели Старобинского решение де Ситтера дополнено результатом, полученным в 1971 году Я. Б. Зельдовичем и Л. П. Питаевским [194], который имеет определяющее значение. Дело в том, что в рассматриваемом вакууме допускается существование таких частей поляризации, для которых нарушен принцип энергодоминантности. Принцип энергодоминантности означает, что плотность энергии должна быть строго больше (доминировать), чем давление ($\varepsilon > P$). При этом подразумевается, что и $\varepsilon > 0$, и $P > 0$. Отличие вакуума от обычного вещества и обычного поля (возбуждения вакуума) состоит в том, как отмечалось, что плотность энергии его может иметь как положительное, так и отрицательное значение. Для таких частей, где принцип энергодоминантности нарушается, плотность энергии не обязана быть больше, чем давление. Теоремы, доказанные Хокингом и Пенроузом, о неизбежности сингулярности в ОТО, содержат в себе принцип энергодоминантности. Для обычного вещества условие энергодоминантности является естественным. Характерной чертой истинной поляризации вакуума является то, что она остается ненулевой даже в пространстве, лишенным вещества [58. С. 494]. В случае сильно искривленного пространства это позволило бы избежать сингулярного начала и создало бы возможность для образования частиц гравитационным полем (так называемый квантовый распад вакуума), что приводит к возникновению горячей фазы Вселенной. Иными словами экспоненциально расширяющаяся Вселенная переходит в «горячую Вселенную», описываемую фридмановским законом.

Таким образом, к восьмидесятым годам XX века в космологии укрепляется идея о квантовом рождении Вселенной из «ничего» или из какой-либо «другой Вселенной» [58; 130; 194]. В модели Старобинского экспоненциально расширяющаяся Вселенная возникает как целое в некоторый момент времени из вакуумного «пузыря» или же, в другом варианте, «отпочковывается» от некоторой другой Вселенной. Отметим, что в модели Старобинского получается удовлетворительное решение ряда космологических проблем, однако, неоднородности плотности, возникающие во время перехода к горячей Вселенной, оказываются слишком большими. Кроме этого, здесь не удалось решить проблему сингулярности и проблему космологической постоянной. Тем не менее, это был один из первых вариантов космологических сценариев, в котором использовалась идея Я. Б. Зельдовича и Л. П. Грищука [179] о возможности возникновения целого из «ничего» и связанного с этой идеей предположения о существовании экспоненциальной несингулярной стадии вакуумного состояния Вселенной.

Следует заметить, что в рамках калибровочных теорий со спонтанным нарушением симметрии вакуума появляются вопросы, которые также должны учитываться при построении космологических теорий наряду с проблемами, указанными выше. А. Д. Линде, являющийся автором сценария раздувающейся Вселенной, во многом созвучном с моделью Старобинского, но реализующим несколько иной альтернативный подход, обращает на это обстоятельство особое внимание [85. С. 189–191]. Он причисляет к проблемам, помимо отмеченных, также проблему доменных стенок, проблему реликтовых монополей, проблему реликтовых гравитино, проблему выбора вакуума и размерности пространства. Решение этих проблем, по всей вероятности, возможно лишь в моделях, реализующих основные принципы теории суперсимметрии и учитывающих наличие фазовых переходов вследствие спонтанного нарушения симметрии вакуума.

Проблема доменных стенок связана с тем, что момент спонтанного нарушения симметрии характеризуется перестройкой вакуума, и во всем пространстве возникают классические скалярные поля. Причем минимум энергии соответствует нескольким (по меньшей мере, двум) состояниям скалярного поля с различными потенциалами. Так что в причинно несвязанных областях в результате нарушения симметрии могут возникнуть (в случае двух состояний скалярного поля) домены с потенциалами, противоположными по знаку, которые отделены друг от друга доменными стенками. Наличие хотя бы одной стенки в наблюдаемой части Вселенной привело бы к недопустимым космологическим последствиям.

В теориях со спонтанным нарушением симметрии в общем случае речь идет о дискретном наборе различных классических вакуумов. При этом возможны состояния, где эффективный потенциал имеет несколько минимумов одинаковой глубины. Проблема выбора вакуума состоит в том, что в результате спонтанного нарушения симметрии Вселенная попадает именно в тот минимум, выбирает именно тот вакуум, в котором симметрия нарушена до симметрий сильного, электромагнитного и слабого взаимодействия, что соответствует реалиям наших дней.

Практически все модели Великого объединения предсказывают рождение магнитных монополей [85. С. 172], т. е. изолированных южного и северного магнитных полюсов во время фазового перехода, нарушающего симметрию Великого объединения до симметрий сильного, электромагнитного и слабого взаимодействия. Особенностью монополей Великого объединения являются обильное их количество и сверхтяжелая масса. Тем не менее, ни один монополю до сих пор не обнаружен. Решение проблемы реликтовых сверхтяжелых монополей чрезвычайно важно для «спасения» калибровочного подхода. Надо ответить на вопрос, почему, если идея спонтанного нарушения верна, и монополи действительно рождались в

период времени 10^{-35} секунд после взрыва, мы не наблюдаем их в настоящую эпоху эволюции Вселенной.

Проблема реликтовых гравитино состоит в следующем: предсказываемые в суперсимметрии партнеры гравитона-гравитино со спином $3/2$, имеющих массу согласно предсказаниям теории порядка 10^2 ГэВ, должны были распасться лишь на поздних стадиях эволюции Вселенной, что, в свою очередь, должно привести к последствиям, противоречащим наблюдательным данным. Гравитино является необходимым элементом при попытках решения проблемы иерархии масс нашего мира. «Поэтому встал вопрос, — как отмечает А. Д. Линде, — можно ли как-нибудь „спасти“ Вселенную от последствий распада гравитино, или же мы должны отказаться от имеющейся возможности решить проблему иерархии. Следует заметить, что проблема иерархии — одна из самых важных и сложных проблем в теории элементарных частиц, и отказываться от одной из наиболее естественных возможностей решить эту проблему было бы очень нежелательно» [185. С. 190].

Проблема размерности пространства состоит в согласовании результатов, получаемых в теориях объединения. Мы живем, ощущаем в пространстве-времени 4-х измерений. Вопрос состоит в том, какова же истинная размерность пространства-времени и, соответственно, какое число размерностей оказалось компактифицированным. В связи с обсуждаемой проблемой интерес представляет работа П. Эренфеста, датированная 1917 годом, под названием «Каким образом в фундаментальных законах физики отражается тот факт, что пространство трехмерно?» [173. С. 406], где он показал, что наблюдаемые траектории движения планет, устойчивость орбит электронов в атомах, передача информации за счет распространения волн возможны лишь в трехмерном пространстве. Следовательно, и это показано Г. Дж. Уитроу, именно в пространстве с нечетной размерностью возможна жизнь, одним из необходимых условий которой является процесс передачи информации.

Надо сказать, что указанные выше космологические проблемы удастся решить в рамках так называемых инфляционных моделей Вселенной. Основная идея инфляционных теорий состоит в том, что расширение Вселенной и весь последующий ход ее эволюции рассматривается из состояния, когда вся материя была представлена только физическим вакуумом, квантовая природа которого обеспечила космическое отталкивание, приведшее к расширению Вселенной. Ключевым элементом этих моделей является предположение о существовании в очень ранней Вселенной стадии, на которой ее расширение происходило по экспоненциальному закону, т. е., как и в модели А. Старобинского, используется идея существования де-ситтеровской стадии с тем лишь различием, что в инфляционных теориях расширение происходит не в астрономических масштабах времени, а каждые 10^{-34} секунд все облас-

ти Вселенной удваиваются, а затем этот процесс удвоения продолжается в геометрической прогрессии. Иными словами, идет процесс вздутия Вселенной, откуда и появилось название «инфляционная стадия» (от латинского слова *inflatio* — вздутие), т. е. само расширение подобно взрыву. Важным элементом инфляционных теорий является то, что механизм появления инфляционной стадии, особенности протекания ее рассматриваются с учетом космологических фазовых переходов.

Первоначальный вариант сценария раздувающейся Вселенной был предложен в 1980 году Аланом Гусом в статье под названием «Раздувающаяся Вселенная: возможное решение проблемы горизонта и плоскостности» [44; 181; 182]. В модели Гуса предполагается наличие релятивистского фазового перехода из симметричного состояния в состояние с нарушенной симметрией, который шел из сильно переохлажденного состояния, вследствие чего энергия частиц оказывалась подавленной энергией вакуума. При этом Вселенная экспоненциально расширялась до момента фазового перехода, который знаменуется образованием пузырьков новой фазы с полями в них, отличных от нуля. Переохлажденное состояние приводит к затягиванию фазового перехода, что очень важно, ибо благодаря этому размеры пузырьков к моменту, когда они начинают заполнять Вселенную, оказываются очень большими. Это позволяет решить в рамках этой модели проблемы плоскостности и горизонта, о чем и заявлено в названии статьи Гуса. Дело в том, что в областях, охваченных инфляцией, осуществляются одинаковые начальные условия, ибо, если бы и существовали различия и неоднородности, то их следы затерялись бы вследствие огромной скорости расширения в фазе инфляции. Это и объясняет наблюдаемую однородность Вселенной в больших масштабах и решает проблему горизонта, ибо обеспечивает одинаковые условия (стирание различий) расширения для областей, являющихся причинно несвязанными. Благодаря экспоненциальному расширению в фазе инфляции при достаточно большой степени раздувания автоматически обеспечивается та скорость расширения, которая равняется скорости отрыва. Это означает, что в планковские времена плотность Вселенной строго совпадала с критической, что есть решение проблемы плоскостности. Модель Гуса использует представление о вакууме, для которого принцип энергодоминантности нарушен. Отрицательное давление вакуума приводит к эффекту гравитационного отталкивания его, обеспечивающее раздувание, инфляцию Вселенной. Однако при расширении вакуума энергия его не уменьшается, а растет. В целом вакуум представляет собой симметричное, однако энергетически невыгодное, нестабильное состояние, что на языке физики означает стремление его к распаду. Квантовый распад вакуума и знаменует собою в модели Гуса конец фазового перехода и прекращение инфляции. Новая фаза представляет собой уже вакуум «истинный», для которого

выполняется условие энергодоминантности, который, однако, является несимметричным. Тем не менее, гравитационное отталкивание заканчивается, и Вселенная переходит во власть гравитационного притяжения. Благодаря же первоначальному импульсу, приобретенному в период инфляции, Вселенная продолжает расширяться, что фиксируется нами фактом разбегания галактик в настоящую эпоху. Скорость расширения Вселенной, естественно, с течением времени уменьшается. Итак, экспоненциальное расширение в модели Гуса заканчивается рождением пузырьков новой фазы. Распад вакуума в конце инфляции должен приводить к высвобождению огромной энергии, мгновенно нагревшей Вселенную до 10^{27} К, после чего сценарий эволюции Вселенной уже достаточно хорошо понимается современными учеными. Именно переход из стадии инфляции на фридмановскую стадию расширения и составляет основную трудность для модели Гуса. Ибо, чтобы энергия, выделяемая при фазовом переходе, перешла в тепловую энергию Вселенной, необходимо столкновение стенок пузырей при достаточно большой плотности пузырей. А это противоречит малой скорости их образования, необходимой для затягивания фазового перехода, а значит, для значительного раздувания Вселенной. И, как отмечает М. Ю. Хлопов: «Инфляция и переход к фридмановской горячей стадии расширения оказались в таком сценарии несогласованными» [153. С. 27].

Модель Гуса, безусловно, являясь крупным достижением научной космологии, стимулировала разработку новых сценариев раздувающейся Вселенной, в рамках которых удавалось преодолеть недостатки модели Гуса, а также решить другие космологические проблемы. Наиболее плодотворные результаты получены А. Д. Линде. Первый вариант нового сценария раздувающейся Вселенной, основывающийся на более детальном анализе фазовых переходов в модели Великого объединения, содержит в себе вывод о том, что экспоненциальное расширение не оканчивается моментом образования пузырьков, а часть Вселенной продолжает расширяться внутри пузырька и после фазового перехода. В рамках этого сценария наблюдаемая часть Вселенной считается содержащейся внутри одного пузырька. Гус считал, что столкновение стенок огромных пузырьков должно приводить к разогреву, и дальнейшая эволюция Вселенной описывается теорией горячей Вселенной. Однако, столкновения пузырьков, как уже отмечалось, должны приводить к недопустимому нарушению однородности и изотропности Вселенной после раздувания. В новом сценарии Линде показал, что инфляция может идти не только до фазового перехода с образованием пузырьков, но и после, уже внутри пузырьков. Существуют условия, при которых стенки образовавшихся пузырьков после раздувания оказываются друг от друга на расстоянии большем, чем 10^{28} см, потому-то это и не приводит к возникновению неоднородностей в рассматриваемой области. Разогрев же Все-

ленной после раздувания в этом сценарии происходит не за счет столкновений стенок пузырьков, а за счет рождения частиц. Таким образом, мы не обнаруживаем никаких неоднородностей, возникающих за счет соударения стенок пузырьков. Это позволяет объяснить проблемы крупномасштабной однородности и изотропности Вселенной.

В новом сценарии раздувающейся Вселенной два ключевых момента: во-первых, процесс нарушения симметрии должен идти сначала медленно, чтобы обеспечивалось раздувание внутри пузырька, во-вторых, на более поздних стадиях должны идти процессы, обеспечивающие разогрев Вселенной после фазового перехода. Один из наиболее интересных вариантов нового сценария раздувающейся Вселенной является сценарий реликтового раздувания [85. С. 200] в рамках супергравитации. Эта модель реализует возможность «островной» структуры Вселенной, когда после раздувания Вселенная разбивается на мини-Вселенные с разными типами нарушения симметрии. В рамках этой модели удастся, по-прежнему, решить проблемы плоскостности, горизонта, крупномасштабной однородности и изотропности Вселенной, ибо размеры отдельной мини-Вселенной превышают размеры наблюдаемой части Вселенной. Представление об «островной» структуре Вселенной позволяет ответить на такие вопросы, как проблема выбора вакуума и проблема размерности пространства, ибо не отдает предпочтения, скажем, именно тому вакууму, который нужен нам, или именно четырехмерному пространству. А попросту Вселенная состоит из причинно-несвязанных мини-Вселенных, в которых возможны различные размерности пространства и различные типы вакуумов, т. е. исходное пространство могло компактифицироваться на мини-Вселенные по-разному, на пространства различных измерений и с различным выбором вакуума. Так что свойства частиц и вакуума в различных мини-Вселенных различны. Жизнь, как это отмечали Эренфест и Уитроу, возможна лишь в пространстве четырех измерений, именно вследствие этого наша Вселенная с конкретным типом вакуума оказалась одним из тех «обитаемых» островов, «четырёхмерность пространства внутри которых делает наше существование возможным» [85. С. 202].

Линде совершенствует этот сценарий идеей о хаотически раздувающейся Вселенной. Этот сценарий основывается на изучении эволюции Вселенной, заполненной хаотически распределенным полем вакуума. Здесь удастся решить проблему плоскостности не только для открытой или плоской Вселенной, но и для замкнутой Вселенной. Следующий шаг — это сценарий самовосстанавливающейся Вселенной, в рамках которого намечаются пути решения проблемы сингулярности. Линде показал, что одна раздувающаяся область порождает много новых раздувающихся областей, причем свойства пространства-времени и законы взаимодействия элементарных частиц друг с другом в разных областях могут быть различны. В сценарии

самовосстанавливающейся Вселенной учитывается процесс постоянного воссоздания раздувающихся областей. Вселенная не будет иметь ни начала, ни конца. Вследствие этого Вселенная как целое никогда не сколлапсирует. Но этот вывод не означает, что в раздувающейся Вселенной отсутствуют сингулярности. Напротив, значительная часть физического объема Вселенной все время находится в состоянии, близком к сингулярному. Однако разные области Вселенной проходят через сингулярные состояния в разное время, так что нет единого конца пространства-времени, после которого пространство и время исчезают. «Так что наблюдаемая часть Вселенной, скорее всего, представляет собой ничтожно малую область всего мира, и вывод об однородности всего мира на основании наблюдения его малой части — недопустимая экстраполяция. Вселенная, являясь локально фридмановской, в предельно больших масштабах должна быть абсолютно неоднородной, и ее геометрия и динамика ее развития как целого не имеет ничего общего с геометрией и динамикой развития Вселенной Фридмана» [86. С. 53].

Отметим, что в рамках сценариев раздувающейся Вселенной решаются также проблема мелкомасштабной неоднородности нашей мини-Вселенной. Наличие неоднородностей связано с тем, что распад вакуума представляет собой квантовый процесс и не обязательно скорость распада вакуума должна быть строго одинакова во всех точках пузыря. В некоторых областях распад происходит быстрее, там инфляция заканчивается раньше, в некоторых, напротив, позднее. В результате, эти неоднородности сохраняются и будут играть роль зародышей при образовании звезд и галактик на более поздних этапах эволюции Вселенной. Таким образом, происхождение звезд и галактик имеет отношение к физике релятивистских переходов.

В рамках инфляционных моделей глубже раскрывается и содержание проблемы, связанной с космологической постоянной. Как отмечалось, вклад в энергию вакуума должны давать вакуумные колебания всех взаимодействий. Вклады этих эффектов должны приводить к большому значению космологической постоянной. Однако из космологических данных следует, что плотность энергии вакуума в настоящую эпоху не должна по абсолютной величине превышать критическую плотность ($\leq 10^{29}$ г/см³ $\approx 10^{-47}$ ГэВ). Это значение, по всей видимости, достигается после того, как в процессе эволюции Вселенной происходит последовательность фазовых переходов с нарушением симметрии вакуума, приводящих к уменьшению его плотности. Вакуум рассматривается как резервуар энергии, из которого рождаются, приобретают массы и заряды элементарные частицы. Важно выяснение механизма, который приводил бы к такому сокращению. В астрономических наблюдениях также не удастся обнаружить осязательное космическое отталкивание. Возникает вопрос, почему, если, согласно всем пред-

сказаниям физики элементарных частиц, плотность энергии вакуума должна быть примерно на 120 порядков больше, чем 10^{-47} ГэВ, из наблюдений следует ее столь малое значение. В современных моделях единой теории предполагается существование следующих релятивистских фазовых переходов: при температуре порядка 10^{15} ГэВ (примерно через 10^{35} секунд после Большого взрыва) происходит спонтанное нарушение симметрии Великого объединения, энергия вакуума уходит при этом на сообщение масс частицам, называемым X -бозонами, и уменьшается примерно на 10^{80} г/см³. Следствием этого процесса является нарушение симметрии между сильным и электрослабым взаимодействиями; а дальнейшие несимметричные распады X -бозонов приводят к преобладанию вещества над антивеществом. Во время следующего фазового перехода, характеризующего спонтанное нарушение симметрии электрослабого взаимодействия и разделение его на слабое и электромагнитное, приобретают массу кванты слабого взаимодействия W^+ , W^- , Z^0 -бозоны за счет понижения энергии вакуума на 10^{25} г/см³. Следующий фазовый переход при температуре 1 ГэВ сопровождается фрагментацией кварков и глюонов в адроны — протоны, нейтроны и другие частицы. При этом вакуум теряет еще примерно 10^{14} г/см³. И, как отмечает А. Д. Линде, — «удивительным образом после всех этих скачков становится равным нулю с точностью до 10^{-28} г/см³. Кажется невероятным, чтобы полное или почти полное обращение энергии вакуума в ноль было случайным и не имело каких-либо физических причин. Проблема энергии вакуума в теориях со спонтанным нарушением симметрии считается сейчас одной из основных проблем, стоящих перед физикой элементарных частиц» [85. С. 191]. Остается лишь отметить, что теории со спонтанным нарушением симметрии вакуума привели к переформулированию проблемы, ибо вопрос ставится теперь не о том, что космологическая постоянная должна быть равна нулю, а о том, почему она стала равна нулю в настоящую эпоху эволюции Вселенной. Как отмечает С. Вайнберг: «Мы хотим понять, почему эффективная космологическая постоянная мала сейчас, а не почему она всегда была мала» [23. С. 645].

Следует остановить внимание и на тех результатах, которые вносит в решение космологических проблем суперструнная теория. Прежде всего, теория струн устанавливает ограничение физически достижимых масштабов длин, что означает невозможность сжатия Вселенной до размеров, меньших планковской длины. Это, в некотором смысле, решает проблему сингулярного начала. Кроме того, согласно понятию дуальности малых и больших радиусов в теории струн, сокращение радиусов до и затем ниже планковской длины, должно сменяться их последующим увеличением, что означает прекращение роста температуры и ее последующего снижения. Основываясь на работах Брандесбергера, Вафа, Венециано и Гасперини, можно сделать вывод, что Вселенная на начальном

этапе была холодной и бесконечно протяженной, затем вследствие неустойчивости наступила эпоха инфляции, приводящая к все большему искривлению пространства, следствием чего явились резкое увеличение температуры и плотности энергии.

Результаты, полученные на современном этапе развития космологии, свидетельствуют о том, что исследования, пусть на теоретическом уровне, перешагивают границы нашего мира, в котором жизнь устроена в какой-то мере известным нам способом. Сценарии хаотического раздувания самовосстанавливающейся Вселенной на повестку дня выносят проблемы методологического характера, обсуждение которых вкупе с рассмотрением антропного принципа очерчивает пути дальнейших поисков в космологии.

§ 2.7. Антропный принцип

Следует отметить, что проблемы, которые затрагиваются антропным принципом, были поставлены еще на заре человеческой культуры. Истоки этой проблематики можно увидеть практически во всех философских и религиозных традициях, для которых всегда был существенным вопрос о месте и роли человека во Вселенной.

Известный исторический факт неприятия христианской церковью гелиоцентрической модели мира, предложенной Коперником, как раз связан с антропологической идеей об особенном привилегированном положении человека во Вселенной, и как следствие этого обязательность идеологической доктрины о том, что именно Земля — центр Вселенной. В Средние века онтологический статус природы в связи с христианским догматом о сотворении мира из «ничего» изменяется, и возникает новое понимание статуса человека в общей картине мира: человек уже не просто элемент космоса, как это было в греческой научной традиции. В христианском понимании — он господин природы. Это привело к тому, что с конца XII века общепринятой становится геоцентрическая система Птолемея, созданная еще во II веке нашей эры, которая сменяет господствующую на протяжении веков концепцию мироустройства Аристотеля. Корни вышеуказанной интриги в том, что коперниканская революция лишает планету, населенную мыслящими существами, привилегированности, поставив ее в один ряд с подобными небесными телами.

Развитие научного знания в своей динамике происходит в рамках определенных ограничений. Это и требование объективности научных фактов, и преодоление мифологических, религиозных и прочих, как сказали бы позитивисты, метафизических тенденций в построении теорий и т. д. И вот с конца 1960-х годов происходит «переоткрытие» антропного принципа, который самими же физиками называется «нефизическим

принципом» [49. С. 133] (ситуация для физиков, по меньшей мере, неординарная!), и который, тем не менее, рассматривается как системообразующая идея, призванная связать особенности физического мира с существованием человека в качестве познающего этот мир субъекта. В общем и целом, это радикальный отход от традиционной классической схемы научного мышления в астрофизике с ее идеалом объектного рассмотрения Вселенной (в качестве конкретного объекта независимо от субъекта познания) и шаг в направлении создания квантовой астрофизики и квантовой космологии.

«Переоткрытие» антропного принципа можно датировать выступлением известного астрофизика Брандона Картера на Международном симпозиуме, посвященном 500-летию со дня рождения Николая Коперника, который проходил в 1973 году на родине великого ученого — в г. Кракове. Свой доклад «Совпадения больших чисел и антропологический принцип в космологии» Картер начал словами: «Коперник преподавал нам очень поучительный урок, согласно которому мы не должны, не имея на то оснований, предполагать, что занимаем привилегированное центральное положение во вселенной. К сожалению, это привело к сильной (и не всегда подсознательной) тенденции расширить этот принцип до весьма сомнительной догмы, суть которой заключается в том, что наше положение не может быть привилегированным ни в каком смысле» [71. С. 369]. Действительно, отрицанием выделенного положения Земли в космической динамике Коперник положил начало традиции, которая оказывала влияние на научную мысль в течение четырех столетий. Земля, бесспорно, может быть рассмотрена как самый обычный астрономический объект из огромного числа подобных планет, обращающихся вокруг звезд типа Солнца в других галактиках. Если бы не особое обстоятельство: Земля — не просто планета, а это обитель для человека и других биологических видов. Для существования всего этого биологического многообразия, не говоря уже о существовании человека и связанного с ним мыслящего духа, требуются определенные благоприятные условия, особые факторы. Это в известном смысле свидетельствует о нетипичности нашего положения во Вселенной.

Собственно, современное авторство антропного принципа принадлежит не Картеру, а Роберту Дикке [172], первому указавшему на то, что коперниканская догма является несостоятельной, если принять во внимание, что необходимой предпосылкой нашего существования являются специально благоприятные условия (температура, химический состав окружающей среды и т. д.), а также и то, что Вселенная эволюционирует и не является при этом локально пространственно однородной. Иными словами, Дикке предлагает нашему вниманию следующее утверждение: «Вселенная так велика по той причине, что мы в ней жи-

вем» [Цит. по: 49. С. 368] и приводит аргументы, которые и составляют суть слабого антропного принципа.

Картер же концентрирует внимание, выдвигая аналогичный тезис, на совершенно удивительном факте исключительной согласованности физических постоянных, небольшие отклонения в значениях которых исключили бы жизнь нашего типа. Различные физические системы в диапазоне от атомных ядер до галактик чрезвычайно чувствительны к точным значениям фундаментальных постоянных. Было замечено, что важные для нашего существования структурные единицы материи, например, такие звезды, как Солнце, своими свойствами обязаны совпадениям чисел, которые построены из фундаментальных постоянных, относящихся вообще к разным разделам физики. Также начальные параметры расширяющейся Вселенной, которые предопределили конкретные свойства нашей Вселенной, согласованы с поразительной точностью. Иными словами, Вселенная каким-то непостижимым образом приведена в точное равновесие. Если бы природа избрала немного другую последовательность чисел, то мир был бы совершенно иной, и возможно, что некому было бы и спрашивать, почему мир такой, а не иной. Эти совпадения больших чисел и послужили основанием для введения Картером антропного принципа, несмотря на его, с точки зрения многих физиков, «нефизичность» (что почти синоним «ненаучности»), в структуру астрономии.

О каком совпадении больших чисел, собственно, идет речь?

Уже в 1930 году Эддингтон и Дирак были поражены любопытным и неожиданным совпадением некоторых очень больших чисел, рассчитанных из атомной физики и космологии — областей физики, которые в ту пору были явно несвязанными. Это сейчас можно говорить о полном слиянии космологии и физики элементарных частиц. Это привело к возникновению ряда «экзотических теорий с изменяющимися фундаментальными постоянными». В 1959 году вышла книга Бонди [171], в которой перечислялись некоторые «совпадения больших чисел»: «первое совпадение больших чисел», «второе совпадение больших чисел» и т. д., которые рассматривались как свидетельства обоснованности введения предлагаемых экзотических теорий. В прекрасной популярной книге Дэвиса «Случайная Вселенная» [49] можно получить довольно обстоятельный анализ всех этих широко известных совпадений, рассмотренных на основании современного развития физических теорий и через призму антропного принципа. Представляется важным кратко воспроизвести это содержание.

Проблема совпадения больших чисел состоит в факте тонкого подбора значений констант различных типов взаимодействий, что имеет судьбоносное значение для нашей Вселенной.

Отношение константы электромагнитного взаимодействия к константе гравитационного взаимодействия дает примерно число 10^{40} , которое

совпадает с некоторыми другими важными характеристиками, которые приводятся ниже:

$$a_G^{-1} \approx 10^{40}.$$

1. Число протонов находящихся в области, максимального современного размера Вселенной, доступной наблюдениям (то есть расстояние ct_H , на которое распространился свет за время Хаббла — область радиуса Хаббла), составляет

$$N \approx 10^{80} = (10^{40})^2.$$

Число частиц, содержащихся в типичной звезде, дается формулой:

$$N_* \approx a_G^{-3/2} = (10^{40})^{3/2} = 10^{60}.$$

2. Отношение времени возраста Вселенной к характерному ядерному времени:

$$\frac{t_H}{t_N} \approx 10^{40}.$$

3. Время возраста Вселенной — время Хаббла $t_H = \frac{1}{H} \approx 10^{10}$ лет. По-

стоянная Хаббла H характеризует скорость удаления друг от друга двух типичных галактик, находящихся на определенном расстоянии. Две галактики, расстояние между которыми, скажем 10 Мпс (около 30 млн световых лет) удаляются друг от друга со скоростью около 500 км/с. Постоянную Хаббла вводят как один характерный параметр, благодаря тому, что крупномасштабное распределение вещества во Вселенной весьма однородно.

4. Характерное ядерное время t_N — время, за которое свет пересекает протон. Будем считать размер протона равным 10^{-15} м (комптоновская длина волны для протона), тогда

$$t_N = \frac{10^{-15}}{3 \cdot 10^8} \approx 10^{-24} \text{ с.}$$

5. Отношение характерного ядерного времени к времени Планка

$$\frac{t_N}{t_p} \approx 10^{40}.$$

Объединение фундаментальных постоянных \hbar, c, G позволяет получить фундаментальную единицу длины l_p и времени t_p , называемые, как уже отмечалось, длиной Планка и временем Планка. Ожидается, что при этой длине и при этом характерном времени проявляются эффекты квантовой гравитации.

$$t_p = \left(\frac{G\hbar}{c^5} \right)^{1/2} \approx 10^{-43} \text{ с;} \quad l_p = \left(\frac{G\hbar}{c^3} \right)^{1/2} \approx 10^{-35} \text{ м.}$$

$$\frac{t_H}{t_p} \approx 10^{60} = (10^{40})^{3/2}.$$

Повторение «мистического» числа 10^{40} привлекло внимание такого крупного физика как Дирак. В 1937 году он высказал идею о том, что совпадение двух таких невероятно огромных чисел, как возраст Вселенной (в ядерных единицах) и число частиц в доступной наблюдениям области, а также и значение a_G^{-1} , не может быть случайным. Однако возраст Вселенной не является фундаментальной постоянной, а меняется со временем. Величина t_H — это эпоха, в которую нам выпало жить. Поэтому Дирак предположил, что гравитационная постоянная G также не должна быть постоянной величиной, а должна меняться обратно пропорционально времени, т. е. уменьшаться так, чтобы соотношение

$$\frac{t_H}{t_N} = a_G^{-1} \approx 10^{40}$$

было справедливым во все эпохи, т. е. он поставил вопрос о постоянстве константы G . Им и Йорданом были предприняты попытки создания теории с изменяющейся гравитационной постоянной. Однако убедительных данных наблюдений, подтверждающих изменения G , нет. Картер в своем докладе отмечает: «Теперь я убежден в обратном: эти совпадения не только далеки от того, чтобы служить свидетельством в пользу таких экзотических теорий, скорее следует считать, что они подтверждают „обычную“ (расширяющаяся Вселенная в общей теории относительности) физику и космологию, которые могли бы, в принципе, до наблюдений, предсказать все эти совпадения. Однако для таких предсказаний обязательно требуется некий принцип, который можно назвать антропологическим принципом и согласно которому то, что мы ожидаем наблюдать, должно быть ограничено условиями, необходимыми для нашего существования как наблюдателей. (Хотя наше положение не обязательно является центральным, оно неизбежно в некотором смысле привилегированное.)» [71. С. 370]. Так что позиция

Картера, а первоначально Дикке есть альтернативное Дираку объяснение совпадения больших чисел.

Обратимся к вопросу, как же влияют перечисленные совпадения на структуру Вселенной и на нашу с вами жизнь, в конечном счете.

Важное значение имеет тот факт, что константа гравитационного взаимодействия очень мала. Как видим, сила гравитации примерно в 10^{40} раз слабее электромагнитных сил (скажем, в атоме водорода). Это соотношение определяет время жизни звезды. Можно было бы достаточно просто показать, что время жизни типичной звезды

$$t_* \approx a_G^{-1} \cdot t_N \approx 10^{40} \cdot t_N,$$

$$t_* \approx t_H,$$

т. е. время жизни типичной звезды сравнимо с возрастом Вселенной. Это так называемое «второе совпадение больших чисел» выглядит загадочно: почему время жизни Вселенной к тому моменту, когда в ней появился человек, относится к характерному ядерному времени так же, как относится электрическая сила к гравитационной. Случайно ли это совпадение? И какое вообще значение для нашей жизни имеет время жизни звезды?

В астрофизике известно, что за исключением новых или переменных звезд, звезды на протяжении столетий меняются незначительно. В частности, Солнце мало изменило свою светимость в течение более 4 млрд лет. Стабильность условий на Земле и в ее окрестностях в течение более 3 млрд лет является следствием не слишком быстрого сжигания Солнцем запасов водородного топлива. Примерно через 5 млрд лет, когда эти запасы исчерпаются и ядерные реакции больше не смогут поддерживать его, Солнце вступит в период неустойчивой быстрой эволюции и, в конце концов, превратится в белый карлик, а человечеству, населяющему Землю, нужно будет переселиться поближе к более молодой звезде. Темп, с которой расходуется ядерное топливо в недрах звезды, зависит от ее светимости, которая в свою очередь зависит от гравитации (через G) и от электромагнитных сил (через непрозрачность звездного вещества и, следовательно, через заряд электрона e). Если бы гравитация была сильнее, то звезды сгорали бы быстрее. Увеличение G в 10 раз полностью изменило бы строение Солнечной системы за время ее существования. Например, нашей Земли уже не было бы, она испарилась бы, когда Солнце в ходе эволюции достигло стадии красного гиганта, почти израсходовав запасы ядер водорода [49. С. 72–73].

Здесь следует сказать, что внутреннее строение звезды довольно сильно зависит от переноса тепла из ее недр посредством излучения. В массивных звездах, где преобладает именно энергия излучения, тепловая энергия

покидает такие звезды в виде потока лучистой энергии. Эти звезды называются голубыми гигантами. В звездах меньшей массы такой механизм не осуществим, так как излучение не может переносить энергию достаточно быстро для поддержания поверхности звезды достаточно горячей. Здесь, как правило, возникают неустойчивости, приводящие к возникновению конвекции. Звезды, в которых конвекция обеспечивает основной перенос энергии, меньше и холоднее, чем голубые гиганты. Они называются красными карликами. Солнце и многие другие стабильные звезды лежат в довольно узкой области, границы которой определяются двумя крайними случаями — голубыми гигантами и красными карликами. Масса типичной звезды попадает в узкий интервал между массами голубых гигантов и красных карликов, что является результатом случайного соотношения между соответствующими постоянными гравитации и электромагнетизма. Если бы гравитация была чуть слабее или электромагнетизм чуть сильнее, то все звезды были бы красными карликами. Напротив, обратные отклонения этих значений привели бы к тому, что все звезды стали бы голубыми гигантами. Соответствующее значение массы звезды $M_* \approx a_G^{-3/2} \cdot m_p$ дает значение числа нуклонов, образующих звезду, — совпадение

$$N = \frac{M_*}{m_p} \approx 10^{60} = a_G^{-3/2}.$$

Хотя Йордан в 1947 году считал, что это совпадение требует революционного объяснения, Картер показал, что оно является предсказанием традиционного типа, которое может быть сделано без использования антропного принципа. Основная идея здесь состоит в том, что протозвезды будут неустойчивы относительно фрагментации или непрерывной потери массы до тех пор, пока они не разделятся на достаточно малые фрагменты, которые удерживаются от сжатия давлением газа ядра звезды. Такая ситуация возникает впервые, когда удовлетворяется вышеуказанное условие. После этого звезда будет устойчивой, так что никакого дальнейшего деления не будет [71. С. 370–371]. Это, так сказать, «первое совпадение больших чисел».

«Второе совпадение больших чисел» отражает тот факт, что время жизни типичной звезды главной последовательности, т. е. времени, в течение которого горит водород, совпадает с сегодняшним возрастом Вселенной, что обсуждалось выше. Именно это совпадение послужило основанием для введения слабого антропного принципа. Дикке пришел к выводу, что не случайно, что эпоха, в которой появляется наблюдатель, связана с характерным временем протекания определенных физических процессов во Вселенной. Согласно Дикке, жизнь во Вселенной не может возникнуть до тех пор, пока по крайней мере одно поколение звезд не завер-

шит свой жизненный цикл и не рассеет по галактике осколки сверхновых, содержащих углерод. В основе жизни живой материи на Земле лежит углерод, необходимы, конечно, и другие элементы — азот и кислород и т. д. Но вся проблема состоит в том, что этих элементов не было в первичной Вселенной. Достаточное количество их может образовываться только в недрах звезд вследствие нуклеосинтеза. Можно подумать, что эти элементы возникли на ранних этапах эволюции Вселенной, в начале ее расширения, когда имели место температуры, достаточно высокие для синтеза тяжелых элементов. Однако эпоха столь горячей Вселенной была кратковременной; много важнейших процессов состоялось в тот период, но для образования углерода и других элементов этих нескольких первых горячих минут было явно недостаточно. В изобилии образовывался лишь гелий. Следовательно, нуклеосинтез обеспечивается другими условиями, а именно процессами, протекающими в недрах звезд, в которых достигаются и поддерживаются в течение миллиардов лет температуры до 10^7 К, достаточные для превращения большей части звездного вещества в тяжелые элементы. Каким образом, однако, эти элементы впоследствии становятся химическими строительными блоками жизни? Физика этого процесса, а именно последующего рассеяния образовавшихся элементов по галактике, сейчас хорошо понятна благодаря представлениям о взрывах сверхновых. Запасы топлива в любой звезде ограничены. Исчерпание их приводит к тому, что уменьшается энергия, необходимая для поддержания внутреннего давления, компенсирующего гравитационное сжатие массивной звезды. Ядро звезды становится неустойчивым и начинает сжиматься под действием самогравитации. При определенных обстоятельствах сжатие сменяется катастрофическим гравитационным коллапсом, и за доли секунды вещество в ядре звезды достигает ядерной плотности. Следует сказать, что самими многочисленными частицами во Вселенной являются нейтрино. Теория предсказывает, что после начала расширения Вселенной на каждый протон и электрон образовалось около 10^9 нейтрино. Обычные звезды и планеты прозрачны для нейтрино, которые спокойно пронизывают в своем движении, например, нашу планету. Но сколлапсировавшее ядро звезды оказывается настолько плотным, что тормозит нейтрино. Давление, вызываемое потоком нейтрино, приводит к взрыву ядра звезды, вследствие чего внешние слои, содержащие тяжелые элементы, сбрасываются наружу и разносятся по галактике. Вещество, из которого первоначально образовались галактики, состояло из водорода и гелия. Сырьем для новых поколений звезд и планет, в том числе нашего Солнца и нашей Земли, служат осколки сверхновых. Без сверхновых планеты земного типа не могли бы существовать.

Характерно, что возраст Вселенной, связанный с наступлением эпохи, в которой царствует человек с его мыслительной творческой способ-

ностью, с активной, преобразующей действительность деятельностью, совпадает с временем жизни типичной звезды. Дикке ставит ударение на этом обстоятельстве: «Жизнь во Вселенной не может возникнуть до тех пор, пока, по крайней мере, одно поколение звезд не завершит свой жизненный цикл и не рассеет по галактике осколки сверхновых. С другой стороны расход водородного топлива звездами невосполним, так что этот цикл не может повторяться до бесконечности — нельзя ждать смены нескольких поколений звезд. Такие представления приводят к предположению, что жизнь во Вселенной может существовать только в эпоху от t_* до, скажем, $10 t_*$ » [Цит. по: 49. С. 136–137]. Конечно, аргументация Дикке основывается на представлениях об известной нам форме жизни. Может, надо предположить возможность жизни, основанную не на углероде. Но дело не в этом, а в убеждении, что жизнь любого типа не может развиваться до уровня разумной, пока не завершатся определенные физические процессы. Согласно Дикке, наше существование как наблюдателей, состоящих из соединений углерода, объясняет равенства двух различных отношений 10^{40} . Картер в своей статье, обсуждая аргументацию Дикке, называет ее слабым антропным принципом, который он формулирует таким образом: «То, что мы предполагаем наблюдать должно удовлетворять условиям, необходимым для присутствия человека в качестве наблюдателя» [71. С. 372].

Диапазон приемлемых для существования жизни значений констант слабого и сильного взаимодействия также весьма ограничен. Если бы постоянная слабого взаимодействия была бы значительно слабее, то нейтрино не способно было бы оказать достаточное влияние на внешнюю оболочку звезды и вызвать взрыв сверхновой. Напротив, если бы слабое взаимодействие было бы значительно сильнее, то нейтрино было бы захвачено внутри ядра звезды и тоже оказалось бы бессильным.

В космологии большую роль играет слабое взаимодействие нейтрино с веществом, благодаря которому протоны и нейтроны могут взаимопревращаться друг в друга. Для структуры Вселенной важное значение имеет соотношение между числом нейтронов и протонов. Тот факт, что разность масс нейтрона и протона лишь немного больше массы электрона ($\Delta m \approx m_e$) и что постоянная слабого взаимодействия связана с постоянной гравитации следующим соотношением

$$\left(\frac{Gm_e^2}{\hbar c}\right)^{1/4} \approx \frac{g_w m_e^2 c}{\hbar^3} \approx 10^{-11},$$

приводит к равенству: $kT_F \approx \Delta mc^2$, где T_F — температура, при которой нарушается термодинамическое равновесие. Выполнение этого равен-

ства определяет отношение числа протонов во Вселенной к числу нейтронов. Получается, что число нейтронов составляет значительную, но не подавляющую часть общего числа барионов во Вселенной. Детальные расчеты дают значение около 10 %. Благодаря этому во Вселенной имеется значительное содержание водорода. Роль водорода в химии Вселенной чрезвычайно велика: он обеспечивает подходящую продолжительность жизненного цикла типичных звезд; без водорода не было бы ни органических веществ, ни воды. Дэвис анализируют возможные варианты приведенного соотношения. Если бы $kT_F \approx 10\Delta mc^2$, то отношение числа нейтронов к числу протонов было бы равно 0,9. И избыточные нейтроны пошли бы на образование гелия. Мы имели бы другую Вселенную.

Если бы величина Δm была в три раза меньше, то свободные нейтроны не распадались бы на протоны. Если бы масса нейтрона составляла 0,998 ее значения, т. е. если бы u -кварк был слегка массивнее d -кварка, то свободные протоны легко распадались бы на нейтроны с излучением позитрона. В этом случае, возможно, вообще бы не было атомов [49. С. 82–83]. Согласно счастливому для нас «жребию» свободный протон имеет время жизни порядка 10^{33} лет.

Если бы $kT_F \ll \Delta mc^2$, то не было бы взрывов сверхновых и кроме того, не образовывался гелий, — Вселенная была бы чисто водородной. И не было бы возможностей для тройного слияния ядер гелия, ведущего к возникновению углерода.

Если бы сильное взаимодействие было бы несколько слабее, то было бы меньше стабильных элементов. У всех известных ядер тяжелее урана период полураспада значительно меньше, чем возраст Земли. Если бы величина g_s была в 2 раза меньше наблюдаемой, то ядра углерода и железа, например, быстро бы распались. Если бы g_s была бы всего на 2 % больше, то возникал бы дипротон, некоторая экзотическая частица. Известно, что дейтерий в Солнце образовывается слиянием двух протонов с последующим образованием дейтерия, позитрона и нейтрино процессом слабого взаимодействия, с обратным бета-распадом, т. е. превращением протона в нейтрон. Если бы дейтерий образовывался через дипротон, то реакция определялась бы сильным взаимодействием и была бы в 10^{18} раз эффективнее. Это привело бы к катастрофически быстрому расходу водорода и столь же быстрому освобождению энергии. Вряд ли водород при этом пережил бы горячую стадию эволюции Вселенной (подробнее см. [49]). Иными словами, Вселенная взрывным образом неустойчива к изменениям численных значений констант.

В своей книге Дэвис приводит еще одну любопытную случайность, на которую обратил внимание Хойл. Ядра углерода синтезируются в звез-

дах в результате почти одновременного столкновения трех ядер гелия. При слиянии двух ядер гелия образуется нестабильное ядро бериллия. Вероятность слияния бериллия с третьим ядром гелия и образование ядра углерода прежде, чем бериллий распадется, обусловлено существованием ядерного резонанса. Когда частота квантовой волны, связанной с налетающим ядром гелия, совпадает с собственной частотой колебаний бериллия, ядерное поперечное сечение для захвата третьего ядра гелия очень резко возрастает. По счастливой случайности тепловая энергия ядер в типичной звезде лежит почти точно в области резонанса углерода. И это обеспечивает эффективный синтез углерода в недрах звезд. Но тут еще одно обстоятельство, свидетельствующее о нашей удачливости. Углерод еще должен уцелеть в недрах звезды, ибо дальнейшее столкновение его с ядром гелия может привести к образованию кислорода. Однако резонансная энергия кислорода гораздо ниже тепловой энергии, поэтому углерод полностью не может сгореть с образованием кислорода. Доводы Хойла свидетельствуют уже в пользу сильного антропного принципа. Как пишет сам Хойл: «Если бы вы хотели образовать углерод и кислород примерно в равных количествах в ходе звездного нуклеосинтеза, то должны были бы задать два уровня резонансов, причем именно там, где эти уровни найдены...» [Цит. по: 49. С. 141]. Приведенные выше факты родили версию сильного антропного принципа, которую Картер сформулирован следующим образом: «Вселенная должна быть такой, чтобы в ней на некоторой стадии эволюции допускалось существование наблюдателя» [49. С. 373]. По существу, сильный антропный принцип утверждает, что Вселенная заведомо приспособлена для существования жизни и что как законы физики, так и начальные условия подстраиваются таким образом, чтобы гарантировать появление и эволюцию жизни.

Все рассмотренные выше космологические проблемы концентрируются вокруг антропного принципа. Но вряд ли объяснение их на основе антропного принципа, учитывая недостаточную методологическую обоснованность его вследствие введшегося в умы естествоиспытателей механицизма, можно считать удовлетворительным. Констатация того, что мы живем в однородной изотропной Вселенной, содержащей избыток вещества над антивеществом, с определенным типом вакуума и конкретной подходящей цепочкой спонтанного нарушения симметрии его, с соответствующей сигнатурой пространства-времени просто потому, что в другой Вселенной жизнь нашего типа была бы невозможна, убеждает, но мало что объясняет и только преумножает вопросы. Почему, к примеру, Вселенная должна быть однородна и изотропна и все ее свойства должны быть приблизительно одинаковы в масштабе всей наблюдаемой части размером 10^{28} см, хотя для возникновения жизни было бы вполне достаточно, чтобы хорошие условия возникли в области размером порядка Солнечной системы 10^{14} см? Форму-

лируя антропный принцип и пытаясь вписать его в науку, Картер высказал предположение о том, что существует много разных вселенных, и жизнь возникает там, где это ей удастся. При этом до недавнего времени совершенно не ясным представлялось, в каком смысле можно говорить о разных вселенных, если наша Вселенная — это все, что существует. Надо сказать, что в этом аспекте современная инфляционная космология дает результаты, позволяющие с вероятностной точки зрения оценить возможность возникновения подходящей обители нашего существования.

Создание инфляционных моделей эволюции Вселенной в корне изменило ситуацию вокруг антропного принципа, ибо сугубо умозрительные предположения о существовании множественности миров получают подтверждение в рамках научно-теоретической системы в целом. Мы живем в области Вселенной, где есть электромагнитное, слабое, сильное и гравитационное взаимодействия, а пространство-время — четырехмерно. Однако это не означает, что такая область единственная. Всевозможных областей — бесчисленное множество, но жизнь нашего типа в других областях не состоялась. При этом чтобы возникли хорошие условия жизни в окрестностях Солнечной системы, необходимо навести порядок в масштабах гораздо больших, чем размер всей наблюдаемой Вселенной.

Самым большим желанием физиков-теоретиков до недавнего времени было построение такой теории, из которой однозначно следовали бы наблюдаемые значения всех параметров элементарных частиц, населяющих нашу Вселенную. Сейчас стало понятно, что теория не должна давать однозначные значения. Речь может идти только о вероятности возникновения Вселенной нашего типа среди бесчисленного множества других. «Из-за неограниченности во времени процесса раздувания в сценарии самовосстанавливающейся Вселенной в ней возникает неограниченное число мини-вселенных всех типов, вероятность образования которых не равна нулю. Но именно это и нужно для обоснования слабого антропного принципа: мы живем в областях с определенными свойствами пространства-времени и материи не потому, что другие области невозможны, а потому что области обсуждаемого типа существуют, а в других областях жизнь нашего типа невозможна или маловероятна» [86. С. 241–242]. Идейная основа слабого антропного принципа очень проста. В сущности, речь здесь идет об оценке вероятности наблюдения области Вселенной с заданными свойствами при условии, что основные свойства того, кто производит наблюдения, нам также известны. Иными словами, все сводится к исследованию предпосылок возникновения Вселенной нашего типа. С методологической точки зрения, это тот подход к проблеме, который декларируется принципом историзма в диалектике. Можно по этому поводу повторить известное высказывание Маркса о том, что «анатомия человека есть ключ к анатомии обезьяны». Принцип историзма неперенным усло-

вием ставит анализ явления и предпосылок его возникновения с позиции уже ставшей развитой органической целостности. Такой подход отличал отечественных ученых, занимающихся астрофизическими и космологическими проблемами, вследствие чего ими задолго до формулирования антропного принципа Картером, высказывались идеи, лежащие в одном ключе со слабым антропным принципом (подробнее об этом см. [65]). Так, А. Л. Зельманов в 1965 году писал: «В области космических, а тем более космологических масштабов самая возможность существования субъекта, изучающего Вселенную, определяются свойствами изучаемого объекта» [61. С. 396]. Подобная точка зрения отличает и работы Г. М. Идлиса [62], Г. И. Наана [98], А. И. Шкловского [159] и других.

Между тем в версии сильного антропного принципа осуществлено максимальное расширение границ этого принципа до идеи о том, что Вселенная должна быть именно такой, чтобы в ней на определенном этапе появился человек, т. е. эволюционирует в предустановленном направлении, к главной цели — появлению человека. Этот целеполагающий аспект и явился предметом для многосторонней критики сильного антропного принципа. Опираясь на модель ансамбля вселенных, многие авторы пытались смягчить проблему, заменяя идею Картера принципом самоотбора, против чего выступил сам автор. В. В. Казютинский, указывая на экстравагантность сильной версии, отмечает: «Ссылка на человека в структуре космологического объяснения всегда казалась чем-то выходящим за границы принятых эталонов научности. Препятствия такого рода лишь потому не вызывали сенсаций, что оставались практически незамеченными. Но на этот раз они вызвали совершенно беспрецедентный всплеск эмоций. Модальность долженствования отнюдь не свойственна научным принципам — в отличие, например, от этических, если, конечно, не прибегать к ухищрениям, ослабляющим и меняющим смысл выражения „Вселенная должна“. Определенное сходство между сильным антропным принципом и „аргументом от замысла“ делало его еще более необычным, усиливая социокультурное значение этого принципа» [65. С. 165]. Так что требование сильного антропного принципа, согласно которому Вселенная должна быть запрограммирована на появление человека, допускает теологическое объяснение, через трансцендентные силы. Противопоставить такой аргументации можно лишь объяснение с точки зрения саморазвития, самоорганизации мира (включая идею спонтанности, хаотического раздувания и т. д.). Синергетическая насыщенность проблемы здесь, так сказать, налицо, что прочитывается в самом назывании сценария «самовосстанавливающейся Вселенной».

Справедливости ради отметим, что идея «целеполагания» в развитии Вселенной, безусловно, не тривиальна, однако не нова, и была высказана Ф. Энгельсом при обсуждении гипотезы «тепловой смерти Вселенной»:

«Материя во всех своих превращениях остается вечно одной и той же, что ни один из ее атрибутов никогда не может быть утрачен и что поэтому с той же самой железной необходимостью, с какой она когда-нибудь истребит на Земле свой высший цвет — мыслящий дух, она должна будет его снова породить» [167. С. 363]. Конечно, можно ожидать возражений, мол, приведенной цитате уже более ста лет, а согласно современным космологическим теориям ни о какой «железной необходимости» не может быть и речи. Ведь недаром речь идет о «случайной Вселенной». Вот тут-то и возникает вопрос: «А как следует понимать случайность Вселенной?» Если рассматривать категорию случайности на уровне обыденного сознания как то, что могло быть, а что могло и не быть, то вышеприведенные аргументы кажутся неоспоримыми. Однако восхождение на мыслительно-разумную ступень познания приводит к рассмотрению категории «случайности» в диалектическом тождестве с категорией «необходимости», согласно чему случайность понимается как способ бытия необходимости, как форма проявления необходимости и дополнение к ней. Необходимость есть случайность в своей действительности. Кроме того, случайность есть результат пересечения необходимостей. Интерпретационная модель множества вселенных только подчеркивает это понимание. Через призму диалектики «целесообразное» развития Вселенной, «долженствование» не только не противоречит научным представлениям, а предполагает его и, более того, должно быть положено в основу методологии исследования, ибо изучение всех процессов во Вселенной на любых стадиях ее эволюции проводится осознанно и неосознанно, но только с позиции уже развитой целостности — Вселенной с обитающим в ней человеком, наделенным сознанием. Цитируя Э. В. Ильенкова, скажем: «Деятельность человека одухотворена не только пафосом „конечных“ человеческих целей, но имеет, кроме того, и всемирно-исторический смысл, осуществляет бесконечную цель, обусловленную со стороны всей системы мирового взаимодействия» [64. С. 436]. Отметим, что острота методологической сути сильной версии была подчеркнута, в том числе, И. Л. Розенталем, предлагавшим заменить сильный антропный принцип принципом целесообразности [121]. Так что сильный антропный принцип не только не выходит за рамки научного объяснения, в том числе, и за рамки физической интерпретации, а расширяет, раздвигает границы, указывая на необходимость диалектического прорыва в методологию научного знания.

Еще более экстравагантна и еще более диалектична версия антропного принципа с соучастником наблюдателем, предложенная Дж. Уилером: «Вселенная представляет собой самовозбуждающийся контур, приобретающий ту осознанность, которую мы называем реальностью, посредством наблюдателей-участников, которых сама же и порождает на некотором этапе своего существования» [138. С. 550–556]. Думается, что идеологи-

ческая подоплека этой версии зиждется на необычайно большой роли понятия наблюдателя при построении и интерпретации квантовой космологии. Возникают идеи о необходимости создания такой теории, которая включала бы в себя высшую форму материи — сознание. Так, Линде пишет: «Заранее нельзя исключить, что тщательное отмежевание от использования понятия сознания в квантовой космологии является искусственным сужением зоны поиска. Нетривиальность рассматриваемой ситуации некоторые авторы подчеркивают, заменяя слово „наблюдатель“ словом „участник“ и вводя такие термины как „самопознающая Вселенная“. Фактически речь идет о том, действительно ли стандартная физическая теория является замкнутой применительно к описанию мира в целом на квантовом уровне или же нельзя полностью понять, что такое Вселенная, не поняв сначала, что такое жизнь» [86. С. 246].

Следует отметить, что точка зрения Уилера не совсем совпадает с точкой зрения Картера. Картер предлагает интерпретационную модель ансамбля вселенных, ссылаясь на наблюдателя, в сущности, у него не обязательна. Уилер же рассматривает Вселенную как квантовый космологический объект, следовательно, на нее распространяется квантовый способ описания и возникает в корне другой взгляд. Тот, кто думает о себе просто как о наблюдателе, говорит Уилер, оказывается участником. В некотором странном смысле это является участием в создании Вселенной. С позиции принципа участия антропный принцип в космологии оказывается неустрашимым. А. Д. Линде по этому поводу отмечает: «В действительности речь может идти не о причинном воздействии, а лишь о корреляции свойств наблюдателя и свойств мира, который он наблюдает (в том же смысле, в котором нет взаимодействия, но есть корреляция между состояниями двух разных частиц в эксперименте Эйнштейна—Подольского—Розена. Иначе говоря, речь идет об *условной вероятности* того, что мир имеет наблюдаемые нами свойства, при том очевидном и на первый взгляд тривиальном условии, что наблюдатели нашего типа, интересующиеся структурой мира, существуют» [86. С. 240]. К философской интерпретации этого принципа мы еще вернемся в следующей главе.

§ 2.8. Экспериментальные возможности современной физики элементарных частиц и космологии

Если начало XX века ознаменовывалось возможностью постановки таких ключевых экспериментов, которые давали непосредственное подтверждение или опровержение тех или иных научных гипотез, то век спустя ситуация в корне изменилась. Одной из характерных особенностей развития науки на современном этапе является то обстоятельство, что тео-

ретические разработки не только опережают экспериментальные исследования, но и в фокусе своего рассмотрения имеют результаты, для которых прямой эксперимент в принципе поставлен быть не может. Современная наука вошла в стадию «эмпирической невесомости». А. Н. Павленко в связи с этим отмечает: «Хотя новые теории гравитации и теории элементарных частиц и могут получить экспериментальное подтверждение своих „космологических разделов“, но даже с учетом их сопряженности с космологическими теориями — это будут лишь косвенно подтверждающие факты» [104. С. 227]. Автор обосновывает эпистемологический поворот, происшедший в современной науке, и утверждает: «Стадия эмпирической невесомости теории из стадии предварительной и преходящей имеет тенденцию превращения в основное состояние» [104. С. 227]. Сложившаяся ситуация не означает, безусловно, элиминации эксперимента как такового из науки. Осмелимся утверждать, что состояние «эмпирической невесомости» характеризует не столько объект науки, сколько познающего мир субъекта. Свойство субъекта познания — это потребность в экстраполяции, стремление к унификации, к всеохвату разрозненного мира явлений в Едином. Собственно, научная мысль со времен элеатов движется именно в этом направлении и это утверждает себя на современном этапе в попытке создания единой теории поля.

В предыдущих параграфах рассматривались возможные сценарии эволюции нашего мира. Подчеркнем, что сценариев на планковских масштабах пространства-времени может быть много, но следствия, которые могут быть проверены как косвенные подтверждения тех или иных положений вновь выдвигаемых теорий, фиксированы. В связи с этим, следует признать, что господствующее значение в науке начинает приобретать объект теоретический, который должен быть рассмотрен в системе других теоретических объектов, как элемент теоретической системы в целом. Предвосхищая эту ситуацию, резко обозначившуюся в наши дни, великий математик Г. Вейль писал: «Ситуация, которую мы застаем в теоретической физике, никоим образом не соответствует идеалу, ... чтобы каждое суждение имело бы свой собственный, наглядно реализуемый смысл. Законы физики, взятые по отдельности, вовсе не обладают проверяемым в опыте содержанием. Только теоретическая система в целом может быть сопоставлена с опытом» [25. С. 66].

Планируемые для постановки в ближайшее десятилетие эксперименты как раз характерны тем, что лишь определяют направления дальнейших исследований, задают положительную эвристику. Роль их в этом смысле чрезвычайно велика. Однако окончательный ответ на имеющиеся в теории вопросы получены не будут. А между тем, в постановке этих экспериментов человечество подошло к барьеру достижимых энергий. Именно потому авторы статьи [27] определили современную эпоху как

эпоху «критических» экспериментов. Дальнейшее обсуждение этих «критических» экспериментов здесь приводится на основании вышеупомянутой статьи [27], одним из соавторов которой является автор настоящей монографии.

В ближайшее десятилетие в области физики элементарных частиц и космологии планируется реализация трех экспериментальных программ. Первая из них связывается со строительством в Европейском центре ядерных исследований в Женеве (ЦЕРН) Большого Адронного Коллайдера (*Large Hadron Collider*) — (*LHC*). Коллайдер почти со скоростью света будет прогонять частицы по 27-километровому кольцу. В сооружении *LHC* принимают участие ученые 33 стран мира, в том числе и России. Тысячи физиков, большой процент которых составляют российские специалисты, участвуют в различных программах, осуществление которых планируется с началом действия *LHC* (2007 год). В протон-протонном канале этого коллайдера будут достигнуты энергии до 14 ТэВ, что в 7 раз больше, чем в Тэватроне — *tevatron FNAL*. Кроме протон-протонного есть канал тяжелых ионов, где будут сталкиваться атомы свинца. Основное назначение этого канала — создание условий для взаимодействия кварков на очень малых расстояниях с очень большой энергией, что, возможно, позволит обнаружить бозоны Хиггса. Несмотря на многочисленные попытки хиггсовские бозоны (размеры их меньше миллиардной доли миллиметра) до сих пор не удалось обнаружить. Вторая программа служит установлению ускорения Вселенной, которое будет основываться на данных, полученных благодаря астрофизическим наблюдениям с помощью зонда *Supernova / Acceleration Probe (SNAP)*, запуск которого планируется в конце этого десятилетия. *SNAP* произведет детальные замеры тысяч сверхновых с целью установления скоростей их разлета. Третья программа — это исследование «не идентифицированных источников гамма-излучения» с помощью Гамма-лучевого Широкозахватного Космического Телескопа (*Gamma Ray Large Area Space Telescope (GLAST)*).

Постановка этих экспериментов стимулирована, в том числе, уникальными результатами, полученными в ходе эксперимента *WMAP*. С помощью космического зонда *WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe)*, расположенного на расстоянии 1,5 млн км от нас в точке Лагранжа (точка гравитационного равновесия Солнца и Земли), удалось получить данные, более точно определяющие возраст Вселенной (13,7 млрд лет \pm 200 млн лет) и свидетельствующие о существовании «темной энергии». Представления о «темной энергии» оказались необходимы для формирования экстраполяционных данных эпохи акустического типа. Предполагается, что результаты эксперимента *SNAP* позволят точно измерить процентное содержание во Вселенной «темной энергии» и что этот результат совпадет с экстраполяцией, полученной благо-

даря *WMAP*. Хотелось бы сделать замечание, касающееся некритического введения некоторых терминов в науку. Так, когда мы говорим о «темной материи», то имеем в виду некоторый вид неизвестной нам субстанции, которую в гносеологическом смысле считаем материальной. Когда же говорим о «темной энергии», то, по существу, в эту терминосистему вводится тот же самый смысл, только при этом подразумевается другой вид неизвестной нам субстанции.

Состав нашей Вселенной согласно результатам, полученным в ходе эксперимента *WMAP*, таковы: 73 % всей массы Вселенной составляет темная энергия, действующая как антигравитация; 23 % — неизвестный тип, называемый «темной материей». И только 4 % — это известные формы барионов. «Темной материей» называют вещество, состоящее из частиц, которые взаимодействуют друг с другом и с «нормальной» материей только через гравитацию. Первая «темная» Галактика *HVC 127-41-330* установлена американскими учеными с помощью радиотелескопа Аресибо. Наблюдается быстро вращающееся облако, состоящее, в основном, из водорода и пыли. Без сильного источника гравитации это облако должно рассеяться, — предполагается существование в галактике «темной» материи, удерживающей облако. Считается, например, что все яркие галактики содержат «темную материю», масса которой в десять раз превышает массу всех звезд галактик. Существуют и другие астрофизические доводы, свидетельствующие о существовании этой загадочной субстанции. Материя называется «темной», потому что никакого излучения от нее не регистрируется, однако движение галактик и звезд в них говорит о том, что массы галактик значительно больше, чем массы составляющих их объектов.

Как уже отмечалось, значение 73 % «темной энергии» — это следствие экстраполяции, так как с помощью *WMAP* зарегистрированы данные только для «темной материи» и известных форм вещества. Известно, что вследствие антигравитации «темной энергии» Вселенная расширяется с ускорением, хотя хорошо известно, что в прошлом Вселенной был этап замедления расширения. Это установлено благодаря исследованию яркости удаленных сверхновых звезд, которая оказалась не соответствующей красному смещению. Это может означать лишь то, что их образование приходилось на период, когда расширение Вселенной замедлялось. Возможно, расширение Вселенной в течение некоторого времени постепенно замедлялось за счет возникновения гравитационного притяжения рождающегося во Вселенной вещества. Однако концентрация вещества за счет того же расширения постепенно уменьшалась, и, в конце концов, за счет энергии вакуума («темной энергии»), расширение Вселенной вновь начало ускоряться. С помощью эксперимента *SNAP* предполагается выяснить, находится ли вакуум в окончательном

стационарном состоянии или же он эволюционирует. По существу, все три планируемые эксперимента должны служить выяснению внутренней структуры вакуума.

Возможные последствия эксперимента на ускорителе *LHC* по поиску хиггсовых бозонов таковы: в простейшем варианте теории предсказывается самая простая структура вакуумного хиггсового конденсата, характеризующаяся только одним энергетическим параметром. Такая структура имеет только один тип возбуждений, который в эксперименте должен проявляться как электронейтральный хиггсовый бозон H^0 . Если эксперимент подтвердит существование только одного хиггсового бозона со свойствами, полностью соответствующими предсказаниям стандартной модели, то на повестку дня выдвинутся проблема поколений и проблема выделенного статуса нейтрино. В этом случае с необходимостью должна быть востребована качественно новая информация, лежащая уже за рамками стандартной модели. Как отмечают авторы: «При отсутствии новой экспериментальной информации уделом физиков-теоретиков на ближайшие десятилетия останется лишь проведение все более точных расчетов, а экспериментаторов — все более точных измерений одного и того же набора параметров. Для поиска новых идей нужен экспериментальный выход за пределы стандартной модели» [82. С. 45].

При другом результате эксперимента, подтверждающем более сложный вариант стандартной модели, в котором хиггсовый конденсат описывается тремя физическими величинами, а в его спектре возбуждений уже 5 бозонов Хиггса — 2 заряженных H^\pm и 3 нейтральных: H_1^0 , H_2^0 и A_0 , возникают перспективы для подтверждения концепции суперсимметрии.

В космологии после эксперимента *WMAP* и на основании множества наблюдательных данных существует практически полная уверенность в существовании и темной материи, и темной энергии, однако их физическая природа не объяснима в стандартной модели. «Темная энергия» связывается с представлениями о хиггсовом вакууме, а «темная материя» предположительно состоит из нейтралитино. Поле нейтралитино имеет сложную внутреннюю структуру, является суперпозицией нескольких полей. Отдельные компоненты этой суперпозиции с различной амплитудой вероятности представляют собой суперпартнеров фотона, Z^0 -бозона и H_1^0 , H_2^0 -бозонов. Установить структуру нейтралитино — это задача *LHC*. Если действительно будет показано, что нейтралитино существует, и если он является стабильной частицей, то сигнал от темной материи должен быть зарегистрирован *GLAST*. В случае успеха это излучение будет иметь параметры, согласованные с данными, полученными на *LHC*. Иными словами, мы получили бы доказательство того, что «темная материя» действительно состоит из нейтралитино, и это послужило бы весомым доводом в пользу теории суперсимметрии.

Что же касается эксперимента *SNAP*, то он должен способствовать установлению уравнения состояния вакуумной (темной) энергии, установлению закономерностей в эволюции космологической постоянной Λ . Проблема сводится к решению вопроса о том, как меняется плотность энергии вакуума в ходе эволюции Вселенной? Если Вселенная входит в режим ускорения, т. е. плотность энергии вакуума стремится к *const*, то это должно привести, в конечном счете, к полному разрушению структуры Вселенной, к возникновению электронной плазмы. Если же плотность энергии вакуума эволюционирует к некоторому положительному значению, то расширение на определенном этапе сменится сжатием.

Благодаря эксперименту *SNAP* будет получена информация от 6000 Галактик, что, безусловно, максимально минимизирует ошибки эксперимента, но ошибки обработки измерений нейтрализации не подлежат.

Если первый и третий из обозначенных экспериментов в каком-то смысле характеризуют локальные свойства Вселенной, то эксперимент *SNAP* мог бы приоткрыть для нас тайны как будущего, так и прошлого Вселенной. С методологической точки зрения — это проблемы взаимосвязанные. В работе «Детерминация будущим» Ю. А. Жданов отмечает, что философская и научная мысль на протяжении всей истории цивилизации бьется над этими проблемами, но не в мифологической и фантастической, а в категориальной форме. «Здесь на первый план выступает диалектика действующих и конечных причин, механицизма и телеологии, квантовой неопределенности и детерминизма, дополнительности и полноты в описании объекта, энтропии и информации. С разных сторон, с разных уровней организации материи здесь опять-таки осуществляется подход к центральной проблеме развития мира, становления будущего... Обыденное сознание, конечно, видит, как события прошлого сказываются в современности, а нынешнее положение вещей формирует многие черты будущего. Но, видимо, дело обстоит не так просто» [52. С. 108]. Положение дел в эпоху критических экспериментов таково, что возникает впечатление, что природа не дает нам ответов на поставленные вопросы. Возможно, это фиксация нашего скромного места во Вселенной, но хотелось бы верить все же, что мы выясним саму «цель» самодвижения мира, и наша роль в этом круговороте окажется более почетной. Тем не менее, сегодня можно уныло констатировать, что в вопросе о будущем Вселенной много неопределенного, и связано это с нерешенными проблемами о структуре вакуума. Значимость эксперимента *SNAP* состоит в том, что его результаты должны очертить контуры и прошлого, и будущего, вырисовать глобальные свойства Вселенной.

Вся экспериментальная программа Большого Адронного Коллайдера и вся существующая теория темной материи (нейтрино) основываются на оптимистическом сценарии. Предполагается, что суперсимметрия вос-

становливается при энергиях, не превышающих 2 ТэВ. Хотя энергии, достижимые на этом коллайдере, как отмечалось, составляют 14 ТэВ, но с учетом, что только некоторая часть энергии идет на рождение частиц, можно утверждать, что 2 ТэВ — это предельно достижимое значение энергии на этом коллайдере. 2 ТэВ — это оценка, которая получена в оптимистическом варианте теории задолго до строительства этого коллайдера, которая сыграла не последнюю роль в самой постановке эксперимента. Оптимистический сценарий удовлетворяет двум требованиям: во-первых, в суперсимметрии сокращаются расходимости масс-скалярных частиц; во-вторых, имеет место точное схождение инвариантных зарядов в одной точке. Именно удовлетворение этим требованиям фиксирует значение энергии 2 ТэВ. В основе оптимистического варианта теории лежит предположение о существовании «суперкалибровочной пустыни». Считается, что в промежутке между масштабами суперсимметрии и суперобъединения ничего нет. Но если между этими двумя масштабами имеют место промежуточные суперкалибровочные симметрии, то оптимистический вариант утрачивает свое значение. Собственно, оптимистический сценарий при своем пусть даже косвенном подтверждении может дать только один результат — новые представления о пространстве-времени, рассмотрение суперполя как функции суперкоординат. Сама по себе эта проблема также нуждается в методологическом анализе через призму диалектики категорий содержания и формы. Самый претенциозный элемент программы — это сканирование спектра масс суперсимметричных частиц и восстановление масштабов суперобъединения в рамках гипотезы о существовании «суперкалибровочной пустыни». Следует все же отметить явный дефект оптимистического сценария. Собственно, в его рамках не решается ни одна из концептуальных проблем стандартной модели. Мы имеем лишь удвоение числа степеней свободы, когда каждой частице приводится в соответствии частица-двойник.

Какие же варианты исхода этих экспериментов можно прогнозировать?

Быстрый успех связывается с получением на *LHC* подтверждения оптимистического сценария и одновременной регистрации нейтрино и аннигиляционного излучения из гало Галактики. Тогда на многие проблемы сразу проливается свет: подтверждается концепция суперсимметрии, возникает основа для развития новых представлений о пространстве-времени и о темной материи. Загадочной остается только темная энергия. В этом случае, мы вынуждены на данном этапе констатировать, говоря словами И. Канта, что Вселенная — это «вещь в себе» (2), это объект с непредсказуемым будущим и плохо осознаваемым прошлым.

Если *LHC* не даст ожидаемых результатов, то сохраниться гипотеза о том, что суперсимметрия восстанавливается на промежуточных суперкалибровочных полях. Такой вариант развития теории дает модель супер-

струн. Но тогда экспериментальная проверка справедливости этой гипотезы потребует энергий до несколько сотен ТэВ. Это говорит о том, что мы подходим к экспериментальному барьеру, преодолеть который человечество, по всей видимости, не сможет никогда.

Если же ни один из экспериментов не даст ожидаемых результатов, то это может означать только одно, что темная материя состоит из чего-то другого, для которого в теории пока нет аналога. Если сохранить при таком положении дел в теории гипотезу суперсимметрии, то отрицательные результаты экспериментов могут быть интерпретированы как дестабилизация нейтралитно, — его распад на каких-то предыдущих этапах истории развития Вселенной.

В теории струн существует версия, согласно которой струны могут иметь значительно больший размер, чем это считалось первоначально. В этом случае, появилась бы возможность их экспериментального изучения. Это было бы большой удачей для физики XXI века. Однако пока на повестку дня выставлен другой вариант, согласно которому, как отмечает Б. Грин, «наше поколение и, возможно, несколько следующих поколений посвятят свою жизнь исследованиям и разработкам в области теории струн, не имея совершенно никакой обратной связи с экспериментом» [43. С. 153]. Как было показано выше, некоторая обратная связь с экспериментом все же имеет место, хотя, можно сказать, что здесь как бы подводится черта. Иными словами, тезис о том, что современная физическая наука вошла в стадию «эмпирической невесомости», имеет под собой достаточно весомое основание. Вследствие этого особый интерес приобретает философский анализ рассмотренных физических проблем, которому посвящена следующая глава монографии.

Глава 3

Философский анализ оснований современной физики элементарных частиц и космологии

§ 3.1. Концепция целостности как основополагающий принцип построения единой теории поля

В первом параграфе первой главы настоящей работы приведена механистическая концепция целого и части, которая являлась доминирующей в классическом естествознании вплоть до возникновения неклассического типа научной рациональности. Тем не менее, в истории философии со времен Древней Греции был сформирован диалектический взгляд на данную проблему, согласно которому целое и часть рассматриваются не как изолированные друг от друга противоположности, не так, что нечто есть часть, а другое целое, а, во-первых, эти противоположности тождественны, взаимообуславливают друг друга. Во-вторых, они взаимоисключают друг друга, различны; в-третьих, они взаимопревращаются друг в друга: целое есть диалектический синтез частей, а часть — момент целого, причем не в разных отношениях, а в одном и том же отношении в одно и то же время. Невозможно деление целого на части в действительности без разрушения целостности.

Наука Нового времени развивает, в основном, механистическую концепцию целого и части. Ф. Бэкон, Г. Гоббс, Дж. Локк, французские материалисты XVIII века рассматривали в качестве источника знаний о целом эмпирический опыт, считали достаточным для постижения целого познание отдельных частей, суммативное представление о которых и дает истинное знание о целом. Механистический взгляд на природу целого особенно ярко проявляется в работах Р. Декарта. По Декарту, и живой организм — это механическая машина; различие живого организма и машины только количественное. Подобное структуалистское мышление оказалось характерным и для физики Ньютона и всей классической физики впоследствии.

Учение Б. Спинозы может рассматриваться как пример процессуального мышления в отличие от структуалистского. Оно является развитием диалектической концепции целостности: материя рассматривается здесь как целое, развивающееся из самого себя — *Causa sui*, как самодвижущееся и

определяющее самое себя в своем движении. Тем самым, философия Спинозы формирует концепцию неделимой целостности, концепцию холизма.

Идея саморазвития содержится в работах Г. Гольбаха, Д. Дидро, Н. Ламатри, К. Гельвеция, русских революционных демократов. Содержательное развитие получает концепция целостности в трансцендентальной философии.

В понимании Канта отношение целого и частей находится как в прямой зависимости от мистической цели, так и независимо от нее. Он считает, что интуитивный рассудок может иметь представление о целом, независимо от цели. Что же касается обыденного сознания, то оно может постигать целое только, если исходит из понятия цели. Таким образом, в философии Канта прослеживается взаимосвязь концепции целого и целеполагания.

Шеллинг считает, что поскольку идея целого может быть показана лишь путем своего раскрытия в частях, а отдельные части возможны лишь благодаря идее целого, то здесь имеется противоречие, преодолимое только для гения. Осознание противоречия целого и части — важный шаг вперед в философской мысли.

Большой вклад в решение проблемы вносит Гегель. Отношение целого и части исследуется им через призму диалектики тождества и различия противоположностей. «Отношение целого и частей как непосредственное отношение есть нечто очень понятное рефлектирующему рассудку, и он поэтому часто удовлетворяется им даже там, где на самом деле имеют место более глубокие отношения», — отмечает Гегель. «Так, например, члены и органы живого тела должны рассматриваться не только как его части, так что они есть, что они есть, лишь в их единстве и отнюдь не относятся безразлично к последнему. Простыми частями становятся эти члены и органы лишь под рукой анатома, но он тогда имеет дело уже не с живыми телами, а с трупами. Этим мы не хотим сказать, что такое разложение не должно вообще иметь место, но что внешнего и механического отношения частей и целого недостаточно для того, чтобы познать органическую жизнь в её истине» [33. С. 301–302].

Выработанная в философии Гегеля концепция целостного описания мира как самодвижущегося, саморазвертывающегося целого (хотя и представляющего собой в его философии самореализацию Абсолютной Идеи, познающей самое себя) находит свое возрождение лишь в современных космологических теориях. Путь к этому пролегает через концепцию целостности, играющую роль трансдисциплинарной концепции в квантовой физике. Иными словами, лишь достижения естествознания XX века позволяют ставить вопрос о диалектическом отношении целого и части для физических систем.

Обращает на себя внимание широкое употребление таких понятий как «компонент», «элемент», «часть», «целое», «целостность». При этом

считается, что категория «компонент» характеризует объект через отношение составленности и отражает одно единственное свойство — входить в состав. Взаимосвязь компонентов, определенным образом упорядоченная, образует систему. Компонент становится элементом, если он характеризуется через взаимодействие с другими компонентами в структуре, а не сам по себе как отдельное. При этом, как правило, вопрос об отражении в элементе специфики предмета как целого не ставится. Если все связи в системе охвачены основным внутренним противоречием, обеспечивающим интегративный характер взаимодействующих частей (уже не элементов, не компонентов, а частей), то система рассматривается как целое. В качестве основной характеристики целого рассматривается свойство интегративности. Целое — это то, что выражает в объекте специфику, обусловленную процессом интегрирующего взаимодействия частей и относящуюся к объекту только как к целому, не присущему ни частям в отдельности, ни их сумме. Через этот аспект **нередуцируемости** целого на части и возникает определение целостности. И в диалектическом, и в синергетическом аспектах рассмотрения важно то, что не все части в целом равноправны. Некоторые из них имеют конкретно-всеобщее содержание. Отношение целого к части, являющейся конкретно-всеобщей, есть отношение целостности. Всегда представляется затруднительным разведение категорий целого и целостности. Мы придерживаемся точки зрения, согласно которой целое рассматривается как результат вместе со своим становлением, а целостность как абсолютное движение становления. К. Поппер обращает внимание на двусмысленность и в употреблении слова «целостность». «Оно употребляется для обозначения (а) совокупности всех свойств или сторон предмета и, в особенности, всех отношений, связывающих его составные части, (б) некоторых особых свойств или сторон обсуждаемого предмета, а именно тех, благодаря которым он предстает как организованная структура, а не как «простое нагромождение» [113. № 9. С. 33]. В современной отечественной философской литературе понятие целостности, как правило, берется именно в смысле целостности (б). Именно в этом смысле понятие целостности употребляется в данном исследовании.

Особый интерес представляют работы [76; 96], в которых акцент делается на диалектике целого и момента. Т. А. Мшвидобадзе подчеркивает, что «взаимоотношение частей — это не непосредственное отношение, что отношение частей определяется способностью самодвижения диалектического целого и раздвоения», что, если считать «взаимоотношение частей как непосредственное отношение, тогда предмет как субстанциональное целое будет лишним» [96. С. 18]. Тем самым ставится вопрос о диалектическом целом как единственной форме отношения субстанционального к самому себе. Такой подход в качестве противоположности диалектическому целому предполагает не категорию «часть», а категорию «момент». Рассмотрение процесса под углом зрения раздвоения целого на противоположные части не является дос-

таточным, необходимо рассмотрение процессов отношением субстанционального целого к акциденциальным моментам.

До возникновения квантовой физики целостность считалась общей характеристикой биологических и социальных феноменов. Что же касается физики, то здесь главенствовала точка зрения, достаточно полно выраженная словами К. Поппера: «...физические структуры... можно объяснить как простые „конstellации“, или как простую сумму их частей вместе с их геометрической конфигурацией... Структура системы, её дальнейшее движение и развитие целиком определяются нынешней конstellацией её членов» [113. № 8. С. 60]. Тем не менее, новейшее развитие естествознания, прежде всего физики элементарных частиц и космологии, в корне меняет устоявшиеся стереотипы в этом вопросе. Единое суперполе предстает в современной физической исследовательской программе как субстанциональное целое. Это формирует новую парадигму в физике — парадигму холизма. Холистская программа в физике берёт свое начало, как уже сказано, в квантовой механике, где использование её послужило преодолению некоторых аспектов механистической концепции части и целого.

Копенгагенская интерпретация квантовой теории означает, по существу, отказ от классических представлений о частицах как «внеположенных», «себетождественных», «индивидуальных». Микрообъект постоянно чувствует на себе влияние целостности, элементом которой он является и которая определяет статистический характер его поведения. П. Ланжевэн отмечал по этому поводу: «Мне кажется, что основной причиной всех наших современных трудностей является введение представления об индивидуальных частицах. Сущность принципа неопределенности заключается именно в утверждении невозможности проследить за движением отдельного электрона, т. е. невозможности представить его себе в качестве отдельного предмета. Поэтому единственным выходом является, по моему, отказ от представления об индивидуальной частице, индивидуальном фотоне или электроны» [81. С. 362]. Одним из самых важных выводов ортодоксальной (копенгагенской) интерпретации является целостное рассмотрение физических объектов, опосредованное рассмотрением свойств микрообъектов в отношении необходимости к макроусловиям. Причем свойства микрообъектов проявляются как сущность в зависимости от целостности в её конкретности. В этом глубокое содержание принципа дополненности. По словам Бора, «типичная для собственно квантовых объектов черта цельности находит свое логическое выражение в том обстоятельстве, что всякая попытка определенным образом подразделить данное явление потребовала бы изменения в экспериментальной установке — изменения, несовместимого с определением данного явления» [15. С. 55], т. е. здесь мы имеем дело не просто с признанием объективной реальности микрочастицы, а ставим вопрос о действительности

ее как о сущности в своем существовании, которая проявляет свою функцию в некоторой целостности. В нерелятивистской квантовой теории поля импульсные и пространственные характеристики микрообъектов проявляются по отношению к различным, взаимоисключающим друг друга экспериментальным установкам, импульсные и пространственные характеристики в квантовой механике относятся не к объекту самому по себе, а к объекту в определенных условиях, фиксируемых приборами различных типов. И лишь в совокупности друг с другом эти дополнительные эксперименты «раскрывают все то, что можно узнать об объекте» [17. С. 313]. Так что под понятием физической реальности здесь понимается не просто объективная реальность физических объектов, а их действительность.

В диалектической логике категория действительности определяется через свою противоположность — возможность. Категория возможности является фундаментальной характеристикой квантово-механических явлений и воспроизводится в теории такими понятиями, как функция состояния, виртуальные частицы и т. д. Диалектика взаимоотношения действительности и возможности вкуче с концепцией целостности является методологической основой предлагаемой В. А. Фоком и А. Д. Александровым реляционной интерпретации квантовой механики, согласно которой волновая функция рассматривается как характеристика объективно присущих частице до наблюдения потенциальных возможностей. При этом В. А. Фок формулируется концепция относительности к средствам наблюдения, подчеркивающая аналогию в методологических основах специальной теории относительности и квантовой механики. Н. Бор под влиянием позиции Фока пришел к отказу от субъективистской трактовки положений квантовой теории, исключив из теории такие высказывания как «неконтролируемое воздействие прибора на объект» и т. п. Субъект познания может быть разделен на два аспекта — «наблюдателя» и «условия познания». Сами «условия познания» включают в себя наличие экспериментальной установки, языка наблюдения и т. д. В. А. Фок при этом обращает внимание на следующее важное обстоятельство: «Всегда существует граница между той частью экспериментальной установки, которая описывается квантово-механическими средствами и рассматривается как объект, подлежащий изучению, и той её частью, которая описывается классическими средствами и рассматривается как измерительный прибор» [146. С. 52]. И здесь следует еще раз подчеркнуть ту мысль, которую настойчиво проводил в жизнь Н. Бор, о принципиальном различии между теорией квантовых объектов, описываемых уравнением Шредингера, и классических объектов, к которым уравнение Шредингера неприменимо. Свойства микротел проявляются по отношению к целостности, в которую включена квантово-механическая часть измерительного устройства; физическое же взаимодействие между двумя частями экспериментальной установки яв-

ляется контролируемым. Итак, концепция целостности — концепция реляционного холизма является одним из важнейших результатов методологического характера, выработанных в квантовой механике. Эта концепция получила свое содержательное развитие благодаря работе трех авторов, — А. Эйнштейна, Б. Подольского и Н. Розена «Можно ли считать квантово-механическое описание физической реальности полным?» [165], опубликованной в 1935 году. В этой работе формулируется парадокс, названный парадоксом Эйнштейна—Подольского—Розена (ЭПР-парадокс). Если вся предыдущая полемика между Бором и Эйнштейном концентрировалась, в основном, вокруг принципа неопределенности (Эйнштейн предлагал пример, опровергающий соотношение неопределенностей, а Бор всегда доказывал ошибочность аргументов Эйнштейна. Дискуссии Бора и Эйнштейна по этим вопросам имеют сейчас лишь исторический интерес, в то время как в ЭПР-парадоксе предложена ситуация, когда измерение физических свойств частиц может быть произведено без возмущения её состояния, т. е. практически без измерения. Тем самым, ставился вопрос о решении ЭПР-парадокса, не апеллирующего к целостности экспериментальной ситуации. Опишем вкратце ситуацию, предлагаемую авторами парадокса. Пусть частица самопроизвольно распадается на две частицы, которые разделяются на столь большое расстояние друг от друга, что физическое взаимодействие между ними исключается, если учесть, что сигнал от одной частицы к другой не может быть передан со скоростью, превышающей скорость света, т. е. возникают два изолированных друг от друга объекта. Отметим, что изменение состояния объекта вследствие эффектов, распространяющихся с конечными, досветовыми скоростями, принято называть условием локальности. Измерение, произведенное над одной из частиц должно приводить к однозначному предсказанию соответствующей характеристики (импульса, момента импульса, спина — в зависимости от типа эксперимента) другой, если квантовая механика верна. Иными словами, не произведя эксперимент над второй частицей, не возмущая её, приходится признать вполне определенным числовое значение её характеристик независимо от акта измерения. Характерно, что однозначное предсказание характеристики второй частицы, если произведен акт измерения над первой, в настоящее время надежно подтвержден экспериментом.

Авторы ЭПР-парадокса делают на основании данной ситуации вывод о неполноте квантово-механического описания: «Какой бы смысл ни вкладывался в термин „полное описание“, от всякой полной теории, как нам кажется, необходимо требовать следующее: каждый элемент физической реальности должен иметь отражение в физической теории. Мы будем называть это условием полноты... Элементы физической реальности не могут быть определены с помощью априорных философских рассуждений; они должны быть найдены на основе результатов экспериментов и изме-

рений» [165. С. 604–605]. Вывод авторов о том, что «квантово-механическое описание физической реальности посредством волновых функций не является полным» [165. С. 610] основывается на допущении сепарабельности, означающей взаимно независимое существование пространственно разделенных вещей. В настоящее время ряд авторов делает акцент на различии принципов локальности и сепарабельности, согласно которому ортодоксальная квантовая механика рассматривается как локальная, но несепарабельная теория.

Известно, что Бор дал немедленный ответ на рассуждения авторов парадокса [165], утверждая, что физическую реальность необходимо трактовать на основе идеи о нераздельности экспериментальной ситуации, неделимости и целостности квантовых явлений. ЭПР-парадокс для своего решения открывает возможность для более полного использования концепции целостности, не апеллирующей к целостности экспериментальной ситуации. Возможность эта указана самим Эйнштейном в статье «Квантовая механика и действительность» [162], и состоит она в отказе от безоговорочного перенесения принципа ослабления корреляций подсистем на квантовые системы, т. е. в признании несепарабельности. Дальнейшее развитие логических основ квантовой механики уточняет понятия локальности — нелокальности, сепарабельности — несепарабельности, специфики связи вероятностного представления с этими понятиями. Важную историческую миссию в этом уточнении сыграли неравенства Белла, для которых оказалась возможной экспериментальная проверка.

Неравенства Белла имели назначение доказать, что в квантовую теорию невозможно ввести локальные параметры, однако круг вопросов, затронутых ими, оказался неизмеримо шире. Неравенство Белла, сформулированное им в 1964 году в статье *On the Einstein Podolsky Rosen Paradox* [169], является результатом анализа о необходимости требования нелокальности для скрытых параметров. Нарушение неравенств (различных модификаций основного неравенства) Белла в экспериментах типа эксперимента, предложенного Эйнштейном—Подольским—Розеном, сразу ограничивает круг возможных интерпретаций квантовой теории. Как известно, эксперименты, проведенные по проверке неравенств Белла, показывают, что эти неравенства нарушаются. Это сразу же приводит к опровержению теорий квантовых ансамблей и теорий с локальными скрытыми параметрами. Дальнейшее развитие темы Белла приводит к фиксации тех положений, которые заведомо не должны входить в основания приемлемых концепций квантовой теории таких, как принцип аддитивности, неконтекстуальности (измерение наблюдаемой должно давать одно и то же значение вне зависимости от того, какие еще величины при этом измеряются). Общий вывод таков: смысл нарушения неравенств Белла значительно глубже, чем предполагалось самим автором, и что существуют

только «три возможности дальнейшего развития теорий квантового мира... Это локальный и нелокальный вариант квантовоподобной теории (например, квантовой механики), а также нелокальный вариант теории со скрытыми параметрами...» [135. С. 45]. Кроме этого, нарушение неравенств Белла доказывает, что в квантовой теории не работает колмогоровская теория вероятности: вероятности, представленные волновой Ψ -функцией, оказываются согласованными и взаимоскоррелированными. Это проявляется в том, что в квантовой теории складываются амплитуды вероятности, а не сами вероятности, т. е. квантовая теория использует дисперсионные меры вероятности, несводимые к бездисперсионным мерам классической статистики. Это означает, что волновую функцию квантовой системы из двух разлетающихся частиц нельзя представить в виде произведения волновых функций, относящихся к части системы, ибо волновая функция системы содержит все корреляции между свойствами подсистем. Иными словами, специфика вероятностных представлений квантовой теории указывает на несепарабельный характер её. Именно поэтому позиция Эйнштейна—Подольского—Розена, основывающаяся на сепарабельном представлении реальности, была опровергнута благодаря реальной экспериментальной проверке квантово-корреляционных эффектов.

Среди исторических достижений в анализе теоремы Белла и её приложений А. И. Панченко считает, что «наибольшей новацией является, возможно, несепарабельность, или понятие целостности.... Но новый акцент в содержании понятия квантовой целостности, выясненный в процессе анализа теоремы Белла и её приложений, связан с переосмыслением этого понятия как онтологически исходного и объясняющего принципа» [106. С. 27].

Подчеркнем также, что хотя уравнение Шредингера является линейным, признаки нелинейного поведения квантовых систем налицо. И это особенно сказывается в редукции волновой функции при измерениях. На это обстоятельство особенно внимание обращает И. Пригожин и И. Стенгерс: «У квантовой механики нет иного выбора, как постулировать сосуществование двух первичных и не сводимых друг к другу процессов: обратной и непрерывной эволюции, описываемой уравнением Шредингера, и необратимой и дискретной редукции волновой функции к одной из входящих в нее собственных функций в момент измерения» [118. С. 293].

Релятивистская квантовая теория поля, которая началась работами П. Дирака, В. Гейзенберга, В. Паули в конце двадцатых годов, продолженная в трудах Фейнмана, Томонаги, Швингера и других ученых, дает еще более полное представление о физической неразложимости мира, не сведения его к отдельным элементам. Здесь физический принцип целостности находит свое содержание в рассмотрении взаимодействия микрообъектов с определенным состоянием физического вакуума. Именно в этом взаимодействии

все элементарные частицы обнаруживают свои свойства. Вакуум составляет часть целого и рассматривается как объект физического мира, выражающий как раз момент физической неразложимости его. Релятивистская квантовая теория поля уточняет еще один аспект, позволяющий пересмотреть традиционное в рамках механистической концепции представление об элементарных частицах как о простых и неизменных. Как отмечает В. Я. Файнберг: «Самым ярким вытекающим из эксперимента признаком, отличающим релятивистские квантовые представления от нерелятивистских, является размножение и взаимопревращаемость взаимодействующих частиц, а также существование тесной взаимосвязи между величинами, характеризующими такие взаимодействия» [141. С. 29]. Если в нерелятивистской квантовой механике бессмысленно говорить о распределении частиц до измерения по импульсам, то в релятивистской квантовой теории элементарных частиц также бессмысленно говорить о распределении до измерения по типу и сорту частиц. Тем самым возникает вопрос о сложности, о внутренней структуре элементарных частиц.

Тот факт, что в релятивистской физике речь идет о рождении и уничтожении частиц в процессе взаимодействия, так что число участников взаимодействия уже не сохраняется, приводит к пересмотру понятия «состоять из». Составной, неэлементарной частицей считается частица, для которой энергия покоя её составных частиц больше энергии связи, которую надо затратить, чтобы разложить её. Если же некоторая частица превращается в другие частицы, и энергия связи, затрачиваемая на это, больше энергии покоя частицы, то её следует считать элементарной, а возникающие в реакции частицы, как вновь рожденные, не входящие в состав исходной. И, тем не менее, можно увидеть, что механистическая трактовка взаимоотношения целого и части оказывается здесь преодоленной не до конца: перспектива выделения из состава элемента как самостоятельной отдельной единицы, пусть такой, которая несет на себе следы прежнего своего функционирования в целостности, но все же обособленной, вырванной, отделенной от нее, казался самоочевидным. Как правило, такие вербальные характеристики, как «состоять из» и «делиться на» употребляются при описании объектов совместно. Если имело смысл утверждение, что данный объект составной, то имело смысл и требование разделения его на элементы. Так, В. Гейзенберг, обращая внимание на ограниченную область применимости понятия «состоит из», употребляет его вместе с понятиями «делиться», «распадаться». Он пишет: «Понятия „деления“ и „состав“ имеют корректный смысл только в строго определенных ситуациях. Лишь когда элементарная частица распадается вследствие воздействия на нее малых энергий на две или больше части, масса покоя которых в сравнении с этими малыми энергиями очень велика, мы имеем право говорить, что данная элементарная частица состоит из этих частей, может

распадаться на них. Во всех прочих случаях слова „делится“ или „состоит из“ не имеют четкого смысла» [35. С. 152].

Ситуация, обозначившая себя в физике кварков, свидетельствует о том, что кварки — частицы, входящие в состав адрона. Тем не менее, получение их в свободном состоянии не представляется возможным. Феноменальность поведения кварков для физики как раз и заключается в том, что нечто (адрон) состоит из чего-то (кварков), но при этом на них не может быть поделено.

Однако последовательное доведение концепции целостности до её логического конца позволило бы даже предсказать возможность существования таких объектов, которые принципиально не могут быть вырваны из целостности путем какого бы то ни было физического воздействия. А тем более, поскольку такие объекты уже установлены, становится ясно, что сама методологическая посылка выделения кварков в качестве свободных частиц должна быть подвергнута пересмотру, что факт невылета кварков не просто не противоречит диалектике целого и части, а развивает, доводит до глубинной сути саму концепцию целостности. В рамках же физической теории развивает ортодоксальную интерпретацию квантовой теории, ядром которой и является целостное описание поведения микрообъектов.

Кварки внутри адрона предполагаются равноправными. Однако, ограничиваясь этим положением, ничего нельзя сказать о функционировании целого. Функционирование целого выражается категорией целостности. Именно через отношение целостности мы говорим о взаимопревращаемости целого и части, о том, что одно и то же раскрывается и как часть и как целое в одном и том же отношении. Отношение целого и целостности подчиняется принципу субординации, согласно которому либо между частями целого нет равноправия, какая-то из них играет господствующую роль, остальные лишь моменты её, либо, если части равноправны, то существует нечто другое, такая внутренняя связь, которая и обеспечивает целостные свойства целого. Как уже отмечалось в первой главе, данный тезис является лейтмотивом и диалектической и синергетической методологии. Внутренняя связь аддитивных кварков в адроне, как предполагается в настоящее время, выражается понятием глюонный конденсат. При этом глюонный конденсат должен быть рассмотрен также как часть адрона, причем как часть, находящаяся в отношении противоположности к кваркам, обеспечивающей, если пользоваться терминологией Хакена, принцип подчинения. Характерно, что само по себе собственно физическое явление как целое в качестве одной из частей содержит определенное состояние физического вакуума. Тем самым вакуум выступает как конкретно — всеобщая часть любого физического явления. Отношение же целого к части, имеющей конкретно-всеобщее содержание, и есть отно-

шение целостности. В квантовой хромодинамике вследствие непертурбативных свойств вакуума это проявляется особенно ярко. Вакуумный глюонный конденсат выступает как конкретно-всеобщая часть целого, является той связью, через которую кварки и адроны раскрываются и как часть и как целое в одном и том же отношении и в одно и то же время.

Вопрос о существовании глюонного конденсата тесно связан с основными положениями квантовой хромодинамики. Как отмечалось, в основе квантовой хромодинамики лежит группа симметрии $SU(3)$, которая является неабелевой. Это приводит к тому, что кванты поля сильного взаимодействия — глюоны — способны взаимодействовать сами с собой, испускать друг друга. Так как глюоны безмассовы, что является следствием того, что симметрия $SU(3)$ не нарушена, не существует порога для поляризации (перестройки) вакуума. Вакуум поляризуется при сколь угодно малых полях, и явление конфайнмента — следствие этого. Так что вакуумный конденсат является объектом, обеспечивающим эффект удержания кварков — частей внутри целого и тем самым функционирование адрона как целого.

Следует отметить, что в квантовой хромодинамике не описываются структурные элементы вещества сами по себе (кварки или адроны), а рассматривается диалектическая взаимосвязь свойств их от макрообстановки, вакуумного глюонного конденсата. С точки зрения теоретической физики в процессах с высокой энергией, характерный масштаб которых много меньше размеров адрона, глюонный конденсат выступает, как можно приближенно считать, как макроскопический объект (классическое поле).

Представление о конфайнменте, по существу, является развитием **физического принципа целостности**, сближающим точки зрения Бора и Эйнштейна на природу физической реальности, что еще более конкретно проявляется в теории суперсимметрии. Физический принцип целостности Эйнштейна — это принцип «самосогласованного описания геометрии и материи». Вопрос же о том, можно ли разрушить конфайнмент кварков есть вопрос о том, можно ли разрушить глюонный конденсат, а это на языке суперобъединяющих теорий означает возможность или невозможность изменения локальных свойств пространства-времени. Бесспорно, разрешение этой проблемы — это задача физики, конкретной динамики. С методологической же точки зрения здесь намечается естественный синтез двух альтернативных точек зрения на природу физической реальности — Бора и Эйнштейна — в направлении распространения принципа самосогласованного описания материи и геометрии на релятивистскую квантовую теорию поля, содержащую в себе концепцию реляционного холизма.

Философско-методологический анализ физики высоких энергий не может ограничиться рассмотрением явлений только через отношение це-

лого и части, хотя оно дает методологическое обоснование возможности конфайнмента кварков. Современная физическая теория выработала понятие диалектического целого как единственной формы отношения субстанционального к самому себе: все объекты физики рассматриваются как производные, как моменты самодвижения целого. Через отношение субстанционального целого к своим акцидентальным моментам наиболее четко проявляется фундаментальная роль физического вакуума в теории. Адрон представлен здесь в качестве момента, части, порожденной самодвижением, саморазвитием Вселенной из суперсимметричного вакуумного состояния и одновременно является целым по отношению к кваркам и конкретному вакуумному состоянию — глюонному конденсату. Иными словами, вакуум есть то отношение, к которому адрон проявляет себя и как часть, и как целое. Именно в связи с этим представляется, что глубокое понимание явления конфайнмента кварков будет получено именно с созданием единой теории всех взаимодействий, которая могла бы претендовать в общем и целом на историю развития известного нам мира. Само же явление конфайнмента означало бы лишь один из фрагментов конечной неразложимости единого закономерно развивающегося мирового процесса.

Таким образом, в физике поставлена глобальная проблема диалектического целого как единственной формы отношения субстанционального к самому себе. Таким единым целым в случае успеха построения теории должно быть единое суперполе. Внутреннее противоречие, описываемое законами динамики, приводит к расчленению этого целого на противоположности, взаимодействие которых определяет дальнейшее самодвижение целого и приводит к возникновению многообразия физического мира, наблюдаемого нами в настоящую эпоху. В связи с поставленной проблемой интерес представляет анализ релятивистских фазовых переходов в раннюю эпоху эволюции Вселенной, о которых достаточно говорилось во второй главе книги.

Как отмечалось выше, противопоставление между двумя видами материи, изучаемых физикой, между веществом и полем, выливается в противопоставление между бозе-частицами и ферми-частицами. Предполагается, что это различие проявилось во вполне определенный момент в процессе эволюции Вселенной через 10^{-43} секунд с момента «взрыва», когда температура упала ниже значения порядка планковской температуры $T_{кр.1} \approx 10^{19}$ ГэВ, т. е. при температурах, ниже $T_{кр.1}$ проявляется различие видов материи по спинам, при температурах же выше $T_{кр.1}$ это различие должно сниматься. При температурах, больших $T_{кр.1}$ предполагается такое состояние материи, которое совпадало бы с понятием единого суперполя, рассматриваемого как целое, в котором моменты его дальнейшего развития еще не вычленены, вследствие чего все возможные в будущем взаимо-

действия представляют собой одно: нет различия между веществом и физическим вакуумом. По достижении $T_{кр.1}$ и ниже её можно констатировать разделение согласно классической терминологии материи на вещество и поле соответственно по спинам. Иными словами, происходит саморасчленение единой субстанции на две противоположности — вещество и поле, а также расчленение единого взаимодействия на два — гравитационное и единое взаимодействие Великого объединения. Раздвоение единого ни в коей мере не означает, что из одного целого произошло два. Противоположности целого заложены в нем изначально. Однако на определенном этапе самодвижения целого мы говорим о нем как о моменте, в котором господствующую роль играет тождество различных сторон, определяемого на языке физики как симметрия, после которого наступает шаг в другом направлении — момент целого, в котором господствующую роль играет различие тождественных моментов — асимметрия.

Следующий этап в эволюции Вселенной — это симметрия Великого объединения, симметрия между различными частицами с полужелым спином. Речь здесь идет о тождестве между кварками и лептонами. Однако тождество между этими частицами изначально содержит в себе различие, состоящее в том, что кварки — частицы, обладающие цветом, а лептоны — бесцветны. При температурах, больших $T_{кр.2}$ это различие является подчиненным за счет существования X -бозонов, способных превращать кварки в лептоны, и наоборот, вследствие чего различие между ними нивелируется. По достижении критической температуры $T_{кр.2}$ (теория предсказывает, что $T_{кр.2} \approx 10^{15}$ ГэВ) к моменту 10^{-35} секунд с момента «взрыва» происходит спонтанное нарушение симметрии Великого объединения, имеет место релятивистский фазовый переход.

До 10^{-35} секунд с момента взрыва Вселенная представляла собой, как предполагается, плазму, состоящую из фундаментальных частиц. При этом плотность квантов полей (микросоставляющей суперполя) превалировала над физическим вакуумом (макроскопической составляющей). К моменту 10^{-35} секунд все неоднородности, интерпретируемые как кванты полей стремятся к нулю вследствие аннигиляции. Если до 10^{-35} секунд эффект гравитационного отталкивания вакуума был подавлен неоднородностями, то после аннигиляции за счет превалирования плотности вакуума, эффект гравитационного отталкивания должен возрасти и приводить к процессу расширения мира уже не с замедлением, а с ускорением. С увеличением скорости расширения вакуум станет охлаждаться, а в таком состоянии он становится неустойчивым и опять-таки распадается на те же элементарные частицы (что характеризуется как распады приобретших массу X -бозонов). Считается, что между этими двумя эпохами — с момента времени от 10^{-43} се-

кунд до 10^{-35} секунд и существовал этап инфляционного расширения, который и обусловил характерные черты нашей Вселенной.

Ниже температуры $T_{кр.2}$ симметрия Великого объединения нарушается до симметрии $SU(3)$, отвечающей сильным взаимодействиям, и симметрию $SU(2) \times U(1)$. Это момент самодвижения целого, который характеризуется проявлением такой качественной определенности у кварков как цветовой заряд, вследствие чего при температурах, ниже $T_{кр.2}$ господствующим оказывается различие между лептонами и кварками, выливающееся в различие значения констант электрослабого и сильного взаимодействия. Другим аспектом этого момента является тождество, симметрия между электромагнитным и слабым взаимодействием.

В районе температур $T_{кр.3} \approx 10^3$ ГэВ должен иметь место следующий релятивистский фазовый переход, состоящий в том, что нарушается симметрия $SU(2) \times U(1)$, что обнаруживается нами как различие между электромагнитным и слабым взаимодействием.

В районе температур $T_{кр.4}$ имеет место фазовый переход, который состоит не в нарушении симметрии, скажем $SU(3)$, а в изменении состояния вещества, выражаемом в дроблении кварк-глюонной плазмы на отдельные области — адроны (нарушение киральной симметрии $SU(2) \times SU(2)$).

Таким образом, по прошествии каких-нибудь трех минут с момента «взрыва» материя оказывается представленной такими видами как вещество, поле. Взаимодействие между частицами вещества посредством квантов полей распадается на четыре типа, характеризующихся различными свойствами. Из большого количества элементарных частиц, существовавших в первые мгновения эволюции Вселенной, «выживают» лишь некоторые, если иметь в виду естественные, а не лабораторные условия: это u -, d -кварки, электрон и электронное нейтрино. (Существует представление, однако, что такие космические объекты как квазары содержат в себе, возможно, частицы, игравшие существенную роль в первые три минуты с момента «взрыва».)

Не касаясь дополнительно вопроса последующей эволюции, а именно вопроса возникновения галактик, органической материи, жизни и т. д., что выходит за рамки собственно физического описания, отметим, что все вехи эволюции Вселенной представляют собой моменты целого. Сама материя — целое, в своем самодвижении приводит к возникновению всего многообразия явлений. Из сказанного ранее можно сделать следующий вывод: современное развитие физики в качестве материального объекта изучения предполагает рассмотрение единого суперполя, представляющего собой сложное, противоречивое, самодвижущееся целое. Любые другие виды материи содержатся в нем как предпосылки, проявляющиеся как сущности в ходе саморасчленения, самодвижения целого в качестве его моментов.

Предшествующий анализ позволяет сделать некоторые выводы в понимании категорий целое и целостность. В философской литературе выработано понимание целого «как результата вместе со своим становлением». Если же целое понимается как единственная форма отношения субстанционального к самому себе, то «результат вместе со своим становлением» может рассматриваться лишь аспектом диалектики целого и момента. Аспектом же диалектики целого и момента «результат вместе со своим становлением» есть лишь момент единого субстанционального целого. Под целостностью, как отмечалось, понимается «абсолютное движение становления». По всей видимости, аспектом диалектики целого и момента категории «целостность» и «целое» совпадают. Так, в квантовой хромодинамике, говоря об адронах, как о целом, нами исследовался вопрос аспектом отношения целого и частей. И таким аспектом рассмотрения адрон представлял как «результат вместе со своим становлением». Однако если адрон рассматривать как сущность, реализующуюся при определенных условиях ($T \approx 1$ ГэВ) на начальном этапе эволюции Вселенной, то он — лишь момент целого. Целое представляет собой самодвижущаяся Вселенная, «абсолютное движение становления». И здесь понятие целого совпадает с понятием целостности. Именно такой подход позволяет рассматривать адрон (и другие физические объекты) и как целое и как момент в одном и том же отношении в одно и то же время.

Проблема самодвижения целого в физическом мире позволяет сделать вывод о том, что в физике вырабатывается синергетический подход в рассмотрении эволюции Вселенной.

Не представляет сомнения, что современные космологические теории, включающие в свой инфляционный сценарий представление о неравновесности Вселенной на определенном витке эволюции, целиком вписываются в синергетическое представление. Самоорганизация Вселенной происходит путем распада единого суперполя на взаимооткрытые подсистемы — физический вакуум и всевозможные микрообъекты. Критические точки (точки бифуркации) в ходе эволюции (упоминаемые выше релятивистские фазовые переходы), знаменующие собой спонтанное нарушение исходных симметрий, и привели к многообразию количественных и качественных характеристик известного нам мира. Важно подчеркнуть, что спонтанное нарушение симметрии целиком определяется диссипативными процессами с участием физического вакуума. Однако простой констатации самоочевидности синергетического описания истории Вселенной представляется недостаточной, ибо физическая теория не просто дает еще один иллюстративный пример для популяризации синергетики, а требует использования этого новационного подхода с необходимостью для решения собственных задач. Попытаемся обосновать сказанное.

Выше уже отмечалась та роль, которую сыграло открытие Планка в развитии концепции целостности в физике. Постоянная Планка \hbar играет

роль фундаментальной константы в теории. Это один из четырех «китов», наряду с такими фундаментальными константами, как скорость света c , гравитационная постоянная G , постоянная Больцмана k , на которых современная физическая теория возводит все здание физического мира нашей Вселенной. В единой теории ставится задача получения единой константы всех взаимодействий и установления связи между массой Планка и другими массами: массой протона, массой электрона и т. д. Таким образом, здесь реализуется идею Эйнштейна о геометрической природе физической реальности; вопрос фундаментальных констант — это вопрос иерархии масс в природе. Это, безусловно, приближает теоретическое знание к разгадке сущности постоянной \hbar . Однако есть соображения, заставляющие считать постоянную \hbar более таинственной и содержательной, а открытие Планка более фундаментальным, чем, как говорится, «можно было бы себе и представить».

При обсуждении различных интерпретаций квантовой механики подчеркивалась невозможность жесткого разграничения между физическими объектами и субъектами познания. Во многих работах подчеркивается, что это направление представляет собой субъективистско-идеалистическую интерпретацию. Стоит ли спешить с подобными выводами?

Известно, что и классический объект становится объектом теории лишь в соотношении с субъектом познания. Однако здесь всегда предполагается возможность абсолютного разделения объекта и субъекта. В фокковской интерпретации квантовой механики, по существу, противопоставление между объективным и субъективным сохраняется и имеет тот же смысл, что и в отношении к классическим объектам. Однако жесткая материалистическая позиция проблему измерения в квантовой механике не решает. Важное обстоятельство здесь состоит в том, что в обычной квантовой механике мы имеем дело с фиксированной макрообстановкой и с одним наблюдателем. Однако уже в случае с двумя наблюдателями ситуация значительно усложняется.

Если имеем дело с одним наблюдателем, то квантовая теория работает прекрасно. Здесь удается разделить наблюдателя и условия познания (приготавливающая часть экспериментальной установки). Если же имеем дело с двумя наблюдателями, как в случае парадокса Эйнштейна—Подольского—Розена, то в релятивистской области уже нет удовлетворительного решения. Напрашивается вопрос: «А что, если имеется множество наблюдателей? Хаос наблюдений?» Современная физика не дает ответа на этот вопрос. И это связано с тем очевидным фактом, что сущность идеи кванта до сих пор не понята. Однако точка зрения, согласно которой квантовую теорию можно считать законченной теорией, является широко распространенной. Такая позиция прослеживается, к примеру, во многомировой интерпретации волновой функции, согласно которой Вселенная тако-

ва, как аппарат квантовой механики. Так что любому состоянию волновой функции соответствует свой мир [277]. Подобный подход означал бы, что в мировоззренческом аспекте квантовая теория является завершенной, за исключением доработки некоторых деталей. Однако, те проблемы, которые возникают в суперсимметричных геометризованных теориях при сопоставлении их с квантовым принципом указывают на то, что существующая квантовая теория является феноменологической теорией, и главные открытия с участием \hbar еще впереди.

Резюмируя вышесказанное, отметим, что, с одной стороны, идея Планка и связанная с ней концепция целостности находит свое развитие в суперсимметричных теориях, где делается попытка решения вопроса о конкретном физическом мире как неделимой целостной единице. Здесь налицо фундаментальная, определяющая свойства нашего мира, связь между квантом действия \hbar и Вселенной. С другой стороны, нельзя не видеть границы применимости квантовой теории, а именно способность квантовой теории описывать реальность в акте лишь одного наблюдения. Это, между тем, прежде всего, указывает на ограниченность реализации самой концепции целостности в рамках квантовой теории. Отметим в связи с этим, что при сопоставлении квантовой идеи с идеей геометризации физики в суперсимметричных теориях важным является то, что в геометризованных теориях концепция целостности выступает не просто в тривиальном понимании единства всех сил природы, а в смысле целостности между свойствами физических объектов и средствами наблюдения. Формально-математически это проявляется в необходимости калибровки полевых уравнений, которая предваряет поиск решений этих уравнений соответственно определенным начальным и граничным условиям. Операциональный смысл калибровки состоит в фиксации системы отсчета, т. е. задания определенных свойств средств наблюдений как элементов целостности. Казалось бы, что это существенно и с мировоззренческой точки зрения и требует более пристального внимания к вопросу о зависимости физических характеристик от средств наблюдения. Однако можно констатировать достаточно прохладное отношение к использованию концепции целостности в геометризованных теориях поля. Причину этого мы видим в том, что за совершенный эталон физической теории принято нечто другое.

Известно, что все четыре типа взаимодействий описываются калибровочными полями. Электродинамика — также калибровочная теория, описываемая группой симметрии $U(1)$, которая является абелевой. Абелевость группы — это проявление того факта, что кванты электромагнитного поля — фотоны не имеют заряда и не самодействуют сами с собой. Вследствие этого уравнения электродинамики являются линейными. Все решения уравнений электродинамики — калибровочно-инвариантны.

Электродинамика и задала определенный стиль мышления и эталон, к которому должна стремиться каждая физическая теория. Об этом много писалось и говорилось. Раз в электродинамике все наблюдаемые калибровочно-инвариантны, то и все остальные взаимодействия не должны также зависеть от системы отсчета. Можно сказать, что это просто въелось в сознание. Здесь следует особенно четко различать принцип общей ковариантности и принцип калибровочной инвариантности. Принцип общей ковариантности означает, что физические законы имеют одинаковый вид в разных системах отсчета. Однако из этой правильной оценки делается неправильный вывод о том, что и следствия из законов не должны зависеть от системы отсчета. Физический закон, установленный в физической теории, принципиально не является замкнутым. Уравнения любой геометризированной теории вырождены относительно преобразований локальной группы симметрии. Чтобы их решить, их надо откалибровать, т. е. закон природы надо дополнить уравнениями, которые описывали бы систему отсчета, и только потом решать систему уравнений. Электродинамика же — частный и очень специфический случай, ибо группа $U(1)$, как отмечалось, абелева, что само по себе является исключением среди остальных типов физических взаимодействий. И если уравнения, инвариантные относительно абелевой группы симметрии, могут быть записаны в замкнутой форме присутствующих в ней величин, то это не должно возводиться в методологический принцип. Ибо в других теориях уравнения, фиксирующие физический закон, необходимо дополнять уравнениями, описывающими наблюдения.

Принципиальное значение здесь имеет следующее обстоятельство: идея целостности физических объектов и средств наблюдения реализуются в квантовой теории и в классических геометрических теориях различным образом. В квантовой теории она реализуется процессом квантования, переходом к операторному представлению, а в классических геометризованных теориях — путем введения дополнительных уравнений, задающих систему отсчета и, следовательно, состояние наблюдателей. В классической геометризованной теории система отсчета определяется как система, включающая множество наблюдателей, в отличие от квантовой теории, где система множества наблюдателей сразу приводит к проблемам. Таким образом, синтез квантового и геометрического представлений о природе физических полей является далеко нетривиальной задачей. По существу, здесь делается попытка двумя альтернативными способами, совместимость которых не очевидна, реализовать одну методологическую концепцию. Понятно, что нужна ключевая идея, объединяющая квантовый и геометрический подходы. Формулировку этой идеи надо искать при анализе тех проблем, которые существуют в обеих обсуждаемых теориях.

Концепция целостности, реализующаяся в геометризованных теориях, по своей сути эквивалентна идее самоорганизации. Однако без идеи самоорганизации невозможен анализ и тех проблем, которые возникают в квантовой теории при наличии множества наблюдателей. Квантовая теория, с одной стороны, использует концепцию многовариантности путей эволюции (вероятностная динамика всегда многовариантна). А, с другой стороны, именно она решает проблему устойчивости основных физических состояний (электрон не падает на ядро, например). Сопоставление этих двух аспектов квантовой теории приводит к мысли, что постоянная Планка h является отражением происходящих в природе процессов самоорганизации, причем на самом фундаментальном уровне представлений о материи и пространстве-времени. Так что, введение кванта действия и калибровка существующих геометрических теорий — операции, имеющие идентичный смысл. И совмещение этих двух процедур оказывается возможным именно в рамках идеи самоорганизации. Уже говорилось, что основную задачу физики видят в том, чтобы построить квантовую теорию гравитации. Но существует и другая точка зрения, высказываемая, например, Р. Пенроузом: «Традиционная физика относится с большим предубеждением к любым попыткам что-либо изменить в стандартной структуре квантовой механики. Несмотря на, по-видимому, непреодолимые трудности, возникающие при попытке применения правил квантовой механики к теории Эйнштейна, работающие в этой области исследователи, как правило, делали отсюда вывод о необходимости корректировки теории Эйнштейна, а не квантовой механики. Я же придерживаюсь практически противоположной точки зрения и считаю, что проблемы самой квантовой механики носят фундаментальный характер» [108. С. 284]. Иными словами, возможны различные подходы к синтезу этих теорий. Думается, что совмещение двух таких процедур как введение кванта действия и калибровка существующих геометрических теорий осуществимо только в рамках идеи самоорганизации. Основная трудность здесь связана с тем, что до сих пор нет глубинного понимания, что из себя представляют фундаментальные постоянные в физике, на основе которых мы строим все многообразие проявлений нашего мира. Речь идет о постоянной Планка, гравитационной постоянной, скорости света и постоянной Больцмана. Почему они имеют такие значения, а не другие? И каким образом это связано с наличием в нашей Вселенной конкретного скалярного вакуума? Одним из важнейших условий самоорганизации является требование открытости самоорганизующихся систем. Открытая система — это объект, качественные и количественные свойства которого обусловлены взаимодействием с другими объектами. Что можно сказать с этой точки зрения о нашей Вселенной? Безусловно, физическая Вселенная может быть рассмотрена как совокупность взаимооткрытых подсистем, и в этом смысле процессы самоорганизации в

ней обусловлены диссипативными процессами с участием физического вакуума. Однако мы не имеем никакого ответа на вопрос об открытости самой Вселенной. Если она открыта, что очень заманчиво и очерчивает новые перспективы для поисков гипотез, то каков механизм её взаимодействия с другими системами? И что это за системы? Описание самоорганизации Вселенной как взаимодействия между взаимооткрытыми подсистемами по-новому определяет роль физического вакуума. Как отмечают И. Пригожин и И. Стенгерс: «Именно диссипативные структуры представляют собой один из простейших физических механизмов связи» [117. С. 203], что «одной из наиболее интересных особенностей диссипативных структур является их когерентность» [117. С. 229]. Эти выводы особенно важны в связи с развитием несепарабельного подхода в физике. Именно вакуум представляет собой ту конкретно-всеобщую часть целостной неделимой Вселенной, диссипативная структура которой и активные функции обеспечивают самоорганизующиеся процессы эволюции мира. Этим определением подчеркивается выделенная роль подсистемы — вакуума, активные, организующие функции его. Понятие о вакууме как о наинизшем энергетическом состоянии квантованного поля раскрывают лишь одну из характерных сторон вакуума, не включает в себя те новые черты, которые установлены современным развитием физики, такие как нелинейность, диссипативность. Выделенность вакуума, его особая роль в космологических процессах возникновения и развития физического мира позволяет рассматривать его в качестве исходной абстракции в физике.

§ 3.2. Вакуум как исходная абстракция в физике

Можно утверждать, что концепция целостности не является предметом исследований в тех направлениях, которые занимают жестко альтернативную диалектическому подходу позицию. Позиция эта мотивируется ими, как правило, одной из двух причин:

- 1) диалектика рассматривается лишь в рамках идеалистической философии. Если подрывается идеалистическая основа, то вместе с ней отбрасывается и диалектика;
- 2) признание диалектики означает изучение противоречия в самой сущности предмета.

Однако формально-логический подход не совместим с признанием того, что противоречивые суждения могут быть не ложными. В формальной логике ложное тождественно противоречию; противоречие не имплицитно ничего и должно быть устранено. А вместе с этим отпадает необходимость в диалектике.

Первый аргумент легко опровергается, ибо хорошо известно, что существует диалектика на материалистической основе. Это богатое наследие,

некритическое отбрасывание которого было бы нецелесообразным. Более того, в русле задач, исследуемых в настоящей работе, стоит отметить, что ряд крупнейших физиков, разрабатывающих концептуальные основы квантовой теории поля, такие как Н. Бор, А. Эйнштейн, Луи де Бройль, П. Ланжевен и многие-многие другие в своих научных работах и публичных выступлениях не раз обращали внимание на необходимость использования диалектических методов в исследовании физических явлений.

Что же касается второго аргумента, то подобная точка зрения не нова: её еще критически разобрал Гегель в «Науке логики». «Вообще противоречие, — пишет он, — будь это в сфере действительного или в мыслящей рефлексии признается случайностью, как бы ненормальностью и преходящим пароксизмом. Что же касается утверждения будто противоречия нет, будто оно не существует, то такого рода заверение не должно нас тревожить: абсолютное определение сущности должно иметь место во всяком опыте, во всем действительном, равно как и в любом понятии» [32. С. 65–66]. Познание же сущности есть не что иное, как познание противоречия в самой сущности предметов. Так что, «противоречие не следует считать просто какой-то ненормальностью, встречающейся лишь кое-где: оно есть отрицательное в своем существовании определение, принцип всякого самодвижения, состоящего не более как в изображении противоречия... Если же нечто существующее не в состоянии в своем положительном определении в то же время перейти в свое отрицательное (определение) и удержать одно в другом, если оно не способно иметь в самом себе противоречие, то оно не живое единство, не основание, а погибает в противоречии» [32. С. 66]. Так что, если речь идет о развитии предмета, о подлинном самодвижении его, то возникает вопрос о причинах этого, т. е. вопрос о противоречии. Как отмечает А. С. Богомолов: «Оправдать новую, иную, чем в формальной логике, постановку вопроса о противоречии можно было, лишь включив в учение о мышлении идею развития» [12. С. 111]. Заслуга Гегеля как раз в том и состоит, что он рассматривает конечную вещь не просто как «наличное бытие», не просто как определенность, делающую её данным качеством, данной вещью, но и ставит вопрос о содержащейся в этой определенности, в себе своей отрицательности. Отрицательность является свойством данной вещи относительно самой себя, ибо противоположное данному предмету, есть не внешнее другое, а его собственное другое, другое его самого. Так что, «звучащее на поверхностный взгляд схоластическое положение Гегеля о том, что истинное, „диалектическое противоречие есть различие не от некоторого другого, а от самого себя“, имеет кардинальное значение для понимания объективной закономерности превращения вещей, их переходов в иное» [64. С. 121].

Ситуация, возникшая в физике сегодня, как раз и свидетельствует о том, что сама Вселенная рассматривается как целостная и самоорганизующаяся; в теории Суперобъединения вырабатывается представление о

едином самодействующем суперполе как единственной формы отношения субстанционального к своим акциденциальным моментам, т. е. в физической теории возникла та самая почва, на которой не просто вырастает диалектика, но более или менее высокая продуктивность которой в определенной степени будет зависеть от осознанного или неосознанного, но все же использования принципов и методов диалектической логики. Тот факт, что концепция целостности используется в качестве основополагающего принципа при построении единой теории поля не просто доказывает жизненность диалектики, но требует использования её понятийного аппарата для адекватного выражения ситуации в физике.

В диалектической логике понятие органического, самоорганизующегося целого употребляется в качестве синонима конкретного. И тот факт, что физика дошла до изучения саморазвивающегося целого, говорит уже сам за себя. Это означает, что в физике поставлена задача описания эволюции физического мира методом восхождения от абстрактного к конкретному. Это в неявном виде содержится в многочисленных физико-теоретических работах, посвященных исследованиям в области космологии — в описании этапов развития Вселенной и поведения физических объектов на этих этапах. Собственно, система и метод Гегеля, сами по себе построенные в виде абстрактной теории развития, единственной реальной интерпретацией предполагающей восхождение от абстрактного к конкретному, в современной физике высоких энергий получают поле для своего практического приложения. Конкретное понимается при этом как «синтез многообразных определений, которые оказываются в нем одинаково постоянными и сохраняющимися» [32. С. 94]. В мышлении конкретное выступает поэтому как процесс синтеза, как результат, а не как исходный пункт. Абстрактное же выступает как бедное содержанием знание, в силу чего конкретное — синтез абстрактных определений. При этом неверно было бы умаление огромной значимости научных абстракций, без которых немислим сам процесс познания. Ибо само мышление абстрактно, поскольку оно есть процесс абстрагирования от созерцания, от всего того, что чувственно досягаемо. Оно, в этом смысле, во всех своих состояниях, формах, уровнях и т. д. абстрактно. Вместе с тем это абстрактное мышление и абстрактно и конкретно. Однако абстрактное вырабатывается в процессе абстрагирования от целого, вычленения одной из сторон и отбрасыванием других сторон предмета исследования. Конкретное, или мысленно-конкретное является синтезом абстрактных знаний, единством многообразных определений. «Взаимопревращение абстрактного и конкретного есть не что иное, как действительность диалектического процесса восхождения от абстрактного к конкретному» [93. С. 135].

Против использования метода восхождения от абстрактного к конкретному при описании самодвижения и эволюции Вселенной может быть выска-

зано возражение, связанное с тем, что восхождение от абстрактного к конкретному, воспроизведение в теории конкретного по его отдельным сторонам представляет собой лишь метод мышления. Можно по этому поводу привести высказывание Маркса: «Метод восхождения от абстрактного к конкретному есть лишь способ, при помощи которого мышление усваивает себе конкретное, воспроизводит его как духовно конкретное. Однако это ни в коем случае не есть процесс возникновения самого конкретного» [89. С. 727]. Отметим, что построение единой теории поля есть не что иное, как попытка воспроизведения физического мира как конкретного в мышлении. При этом в настоящей работе не подвергается сомнению объективная реальность самого этого физического мира. И цитата Маркса относится как раз не к тому, что метод восхождения от абстрактного к конкретному не может быть использован в качестве онтологического, а к тому, что «Гегель поэтому впал в иллюзию, понимая реальное как результат себя в себе синтезирующего, в себя углубляющегося и из самого себя развивающегося мышления, между тем как метод восхождения от абстрактного к конкретному есть лишь способ, при помощи которого мышление усваивает себе конкретное» [89. С. 727].

Возникновение синергетического направления в науке, новые результаты, полученные в современной физике и космологии, в какой-то степени настоящее исследование, дают основания для рассмотрения метода восхождения от абстрактного к конкретному (конкретному как целостному) не только в качестве логического, но и онтологического принципа. «Абстрактная теория развития, — пишет А. С. Богомолов, — сформулированная в „Науке логики“ имеет реально лишь одну интерпретацию: развитие теории как восхождение от абстрактного к конкретному. Между тем в качестве не только логической, но и онтологической универсальной системы она претендует на всеобъемлющий характер» [12. С. 112].

Характерно, что организмическая философия Уайтхеда содержит в себе тот же метод восхождения от абстрактного к конкретному, что и у Гегеля (ибо признание самодвижения целого неминуемо востребует его), однако Уайтхед спорит с Гегелем по поводу правомерности использования термина «конкретное понятие». Понятие у Уайтхеда всегда абстрактно, конкретное — лишь реально. И то, что Гегель называет «конкретным понятием», у Уайтхеда — наименее абстрактная абстракция. Вводит Уайтхед и категорию «изначального», придавая ей особое значение, называя её «универсалией универсалий», характеризуя её как «креативность», как созидательную силу и т. д. «Изначальное» Уайтхеда актуально благодаря своим акциденциям [136. С. 278].

Использование метода восхождения от абстрактного к конкретному всегда приводит к постановке вопроса об «изначальном», об исходной клеточке научного познания — исходной абстракции. Иными словами, всегда встает вопрос о том, «с чего следует начинать науку» [31. С. 125].

Вопрос о начале в любой науке является чрезвычайно сложным. От правильности решения его зависит логическая последовательность системного изложения научной теории. Начало, по Гегелю, должно быть «абсолютным, или, что здесь то же самое, абстрактным началом: оно, таким образом, ничего не должно предполагать, ничем не должно быть опосредовано и не должно иметь какое-либо основание: оно само, наоборот, должно быть основанием всей науки. Оно поэтому должно быть чем-то всецело непосредственным или, вернее, лишь самым непосредственным» [31. С. 126]. «При этом начало — это наличная и сохраняющаяся на всех последующих этапах развития основа, есть то, что остается всецело имманентным своим дальнейшим определениям» [31. С. 128]. Начало есть единство бытия и ничто, так что оно противоречиво. Началом философии Гегель считает «чистое бытие». У Маркса в качестве начала политической экономии рассматривается товар.

Опираясь на разработку вопроса об исходной абстракции в «Науке логики» Гегеля, в «Капитале» Маркса и в работах отечественных философов [1; 63; 93], можно выделить основные признаки, предъявляемые к исходной абстракции.

Исходная абстракция должна:

- 1) быть элементом, «клеточкой» предмета;
- 2) быть всеобщей;
- 3) выражать сущность предмета в неразвитом виде;
- 4) содержать в себе в неразвитом виде противоречия предмета;
- 5) быть предельной и непосредственной;
- 6) выражать специфику исследуемого предмета;
- 7) совпадать с тем, что было исторически первым в реальном процессе развития предмета.

Что касается признака исходной абстракции, согласно которому она должна совпадать с историческим началом в реальном процессе развития конкретно нашей Вселенной, то приведем точку зрения, которая нами полностью разделяется: «Встречается мнение, будто поиск „клеточки“ в самом реальном объекте есть... плод ошибки, поскольку „клеточка“ должна ориентироваться не на объективно существующий, а на теоретический объект. С этим противопоставлением никак нельзя согласиться, как раз оно само ошибочно: „клеточка“, исходная для восхождения от абстрактного к конкретному, есть именно реальное отношение, реальный процесс» [41. С. 63].

Методологический анализ современного состояния физики элементарных частиц, проведенный в предыдущей части работы, позволил выделить физический вакуум в качестве основного объекта физической теории. Напрашивается вывод о том, что вакуум удовлетворяет всем перечисленным выше основным признакам исходной абстракции. В таком аспекте

рассмотрения современная физическая теория способствует уточнению, развитию самих признаков исходной абстракции, т. е. дает материал для развития методологических основ диалектики.

Как уже говорилось, единое суперполе в своем самодвижении расчленивается на две составляющие — макроскопическую, характеризующую различные вакуумные конденсаты, и микроскопическую — кванты полей. Причем вакуум играет роль носителя активных функций, создающего неоднородности. Напомним, что физический вакуум, понимаемый обобщенно, есть состояние суперполя, в котором в нормальном состоянии отсутствуют возбуждения, интерпретируемые как кванты полей. Всевозможные виды полей существуют в вакууме лишь в возможности, ибо, флуктуируя около своих средних значений, компенсируют все возмущения. Тем самым вакуум может быть рассмотрен как единство бытия и ничто. При определенных энергиях из вакуума происходит рождение элементарных частиц. Это результат, содержащийся в релятивистской квантовой теории поля. Принципиально новым, привносимым в теорию вакуума современными достижениями физики, является то, что вакуум рассматривается как диссипативное начало, создающее структуры, как противоположность, порождающая себе иное — микроскопическую составляющую суперполя, не эпизодически, а на определенных этапах и в определенных режимах, не наблюдаемых в настоящую эпоху эволюции Вселенной, сверхмощно.

Каковы причины подобного эффекта? В физической литературе обсуждаются, в основном, модели, содержащие в себе инфляционную стадию эволюции Вселенной, согласно чему вакуум расширяется экспоненциально и вследствие неустойчивости и наличия отрицательного давления диссипирует энергию, создавая микроструктуры, — как резервуар и поля и вещества. Это рассмотрение лежит в русле идей синергетики, о чем было сказано выше. Концепция эта опирается на объединяющие теории в физике и позволяет решить большинство космологических проблем. Однако здесь несколько в стороне остается важный результат, полученный в квантовой хромодинамике, связанный с непertурбативностью, нелинейным характером вакуума.

Между тем, в синергетике наметился новый подход, несколько отличный от концепции И. Пригожина, в котором «нелинейность рассматривается как фундаментальный узел новой парадигмы» [74; 78; 79]. Подход этот разрабатывается усилиями группы исследователей Института прикладной математики им. М. В. Келдыша и Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Если в концепции И. Пригожина процессы самоорганизации определяются изменением управляющих параметров, по достижении критических значений которых через точку бифуркации за порогом устойчивости может возникнуть организация, то в подходе российской группы ученых в основе самоорганизации лежит нелинейная обратная связь.

В предыдущем параграфе ставился вопрос о том, что сам синтез квантового подхода и геометризации физики возможен лишь в рамках синергетики, причем за эталон должна быть положена нелинейная теория, то при анализе вакуумного раздувания Вселенной это требование может быть только усилено. Ибо «именно благодаря нелинейности имеет силу важнейший принцип „разрастания малого“, „усиления флуктуаций“... Нелинейность порождает своего рода квантовый эффект, дискретность путей развития» [74. С. 10].

Научной школой, работающей в ИПМ, получены результаты, обладающие, без сомнения, исключительной методологической важностью для решения космологической проблемы вакуума. Эти исследования так называемых режимов с обострением. В основе режимов с обострением как раз и лежит широкий класс нелинейных положительных обратных связей. Здесь привлекателен результат, полученный при решении задач на обострение, согласно которому «режимы с обострением могут приводить к локализации, к образованию нестационарных, диссипативных структур. Локализация, оказывается, возможна без стоков, тогда как основное внимание направлено до сих пор на образование стационарных структур на стоках» [74. С. 12]. Это по-новому ставит проблему самоорганизации и стимулирует поиск решений космологической проблемы эволюции Вселенной как совокупности взаимооткрытых подсистем — вакуума, как нелинейной положительной обратной связи, перекачивающей энергию в другую подсистему, без поиска специальных стоков из вселенной. Подобный подход привлекателен еще и в связи с тем, что процессы в режимах с обострением развиваются неравномерно. Существуют классы задач, допускающие существование двух областей: области, где малое возмущение резко возрастает благодаря нелинейной положительной обратной связи, и область, где малое возмущение затухает, сглаживается, нивелируется благодаря той же обратной связи. Вторая область определяет метастабильное состояние. Роль вакуума глобальна по своей значимости, ибо обеспечивает эффект постоянной генерации масс и зарядов частиц за счет динамической взаимосвязи с вакуумным хиггсовым конденсатом. Однако процессы эти можно считать протекающими стабильно.

Применение режимов с обострением благодаря этим двум особенностям очень привлекательно в космологии. Сейчас в точности установлены такие проявления самодвижения Вселенной как её механическое расширение и следующее отсюда уменьшение температуры и плотности Вселенной, которые, в свою очередь, играют роль макроусловий, влияющих на состояние вакуума, обуславливающих тем самым характер протекания процессов в ходе самодвижения Вселенной. Иными словами, их можно рассматривать как управляющие параметры.

При изменении макропараметров вакуум проявляет себя в зависимости от них в определенном качественном состоянии, характеризуемом как конденсат. Возбуждения вакуумного конденсата и означают проявление в качестве другой противоположности микросоставляющей единого суперполя. Причем в процессе самодвижения вакуум не просто порождает себе противоположное, но находится в диалектическом тождестве с ним, ибо играет роль классических макроусловий, по отношению к которым микрообъекты проявляют свои свойства, т. е. имеет место **оборачивание** вакуума в самого себя. Вакуум, порождая моменты своего самодвижения, сам же оборачивается частью этого момента. Таким образом, в каждой физической ситуации вакуум выступает как конкретно-всеобщая часть целого, обеспечивая целостные свойства целого. В зависимости от макропараметров вакуумный конденсат конкретизирует себя, влагая себя в некоторое определение, и при этом, что важно, продолжает лежать в основании всего последующего и не исчезает из него. В плане диалектики целого и момента можно сказать, что именно этим способом содержание показывает, что его определенность не принята от другого и не пристегнута к нему, но оно само сообщает её себе, и исходя из себя, определяет себя в качестве момента и устанавливает себе место внутри целого. Это свидетельствует о том, что физический вакуум является элементом, клеточкой любого физического процесса. Причем эта клеточка несет на себе элементы всеобщего, пронизывает все стороны исследуемого процесса. В любой физической процесс вакуум входит как часть, причем как конкретно-всеобщая часть целостности, взаимодействие с которой и обеспечивает функционирование данного целого. В этом смысле вакуум является и клеточкой, и всеобщей характеристикой объекта и удовлетворяет первым двум из перечисленных критериев, предъявляемых к исходной абстракции.

Далее, исходная абстракция должна выразить сущность предмета в неразвитом виде, основу, на которой развиваются все остальные категории. Вычленение сущности понимается как необходимость рассмотрений внутренней природы исследуемого объекта независимо от всех конкретных форм его существования. Именно физический вакуум принимает непосредственно участие в формировании и качественных, и количественных свойств физических объектов. Такие свойства, как спин, масса, заряд проявляются именно во взаимодействии с определенным вакуумным конденсатом вследствие перестройки вакуума в результате спонтанного нарушения симметрии и суперсимметрии. Само качественное различие четырех типов взаимодействий в настоящий период эволюции Вселенной также есть следствие перестройки физического вакуума в результате спонтанного нарушения симметрии в точках релятивистских фазовых переходов.

Говорить о заряде или массе какой-либо элементарной частицы вне связи её с вполне определенным состоянием физического вакуума не представляется возможным. Как уже отмечалось, и как следует из модели Вайнберга—Салама, при температуре, большей 10^2 ГэВ, существует симметрия между электромагнитным и слабым взаимодействием. В отношении к этому состоянию вакуума заряд электрона и левокиральных нейтрино оказывается равным $1/2$ единицы электрического заряда, а заряды u - и d -кварков равны $1/6$ единицы электрического заряда. По мере понижения температуры происходит перестройка вакуумного конденсата в точке релятивистского фазового перехода. И при температуре ниже 10^2 ГэВ возникает вакуумный конденсат, отвечающий состоянию со спонтанно нарушенной симметрией. По отношению к этому состоянию вакуума заряд электрона становится равным 1, заряд нейтрино — 0, заряд u -кварка $2/3$, а заряд d -кварка $-1/3$.

Что касается массы частиц, то возникновение её у любой элементарной частицы описывается с помощью механизма Хиггса, о чем подробно говорилось во 2 главе. Таким образом, согласно современным представлениям спин, масса, цвет, заряд частиц возникают благодаря взаимодействиям с конкретным типом вакуумных конденсатов.

Познание сущности есть познание противоречия в самой сущности предметов. Это определяет следующий признак исходной абстракции, а именно, она должна содержать в себе в неразвитом виде противоречия предмета. Из вышесказанного ясно, что физический вакуум удовлетворяет и этому признаку.

Исходная абстракция должна выражать специфику явлений. Специфика того или иного физического явления оказывается обусловленной определенным состоянием вакуумного конденсата, входящего как часть в данную конкретную физическую целостность. Можно обратиться в качестве примера к явлению конфайнмента в квантовой хромодинамике. На больших расстояниях взаимодействие кварков и глюонов внутри адронов возрастает: имеет место инфракрасное рабство, вследствие чего невозможно получить кварк в свободном состоянии. Специфика явления конфайнмента обуславливается именно свойствами вакуумных конденсатов внутри адронов. В вакууме квантовой хромодинамики нарушаются исходные симметрии, что и приводит к возникновению вакуумных конденсатов с ненулевой плотностью энергии. Так, нарушение масштабной инвариантности приводит к ненулевой плотности энергии глюонного конденсата; нарушение киральной симметрии (а киральная симметрия как раз и нарушается на больших инфракрасных расстояниях) приводит к заселению вакуума кварк-антикварковыми парами, также дающими отрицательный вклад в плотность энергии. Здесь имеет принципиальное значение тот факт, что вакуумные средние значения кварковых и глюонных полей оказываются нелинейными по этим полям. Очевидно, что специфика явления

конфайнмента, равно как и специфика физики адронов, обуславливается непертурбативными свойствами вакуума квантовой хромодинамики.

Специфика макросвойств Вселенной, четырехмерность пространства-времени нашего мира также определяются свойствами конкретного физического вакуума нашей Вселенной. Сама жизнь рассматривается в современных космологических теориях как результат вполне конкретной цепочки определенным образом нарушенных симметрий исходного вакуума.

Исходная абстракция должна быть предельной и непосредственной, т. е. не опосредоваться другим. Исходная абстракция сама есть отношение. Тот факт, что имеет место оборачивание физического вакуума, что, порождая себе иное, момент самого себя, вакуум сам оборачивается частью этого момента, говорит о соответствии вакуума и этому критерию исходной абстракции.

И, наконец, одним из признаков, предъявляемых к исходной абстракции является требование совпадения её в общем и целом (в онтологическом аспекте) с тем, что было исторически первым в реальном развитии предмета. Иными словами, онтологический аспект сводится к вопросу о вакуумной стадии космологического расширения Вселенной. Существующая теория, как отмечалось, предполагает существование такой стадии. В то же время имеется и экспериментальный аспект вопроса, ибо именно на вакуумной стадии происходит целый ряд физических процессов, итогом которых является формирование макросвойств Вселенной в целом. Следствия этих процессов предполагается установить с помощью планируемых в ближайшее десятилетие экспериментов (см. главу 2). Так что, онтологический аспект проблемы находится в стадии конкретного теоретического и экспериментального исследования.

Современное развитие физики достигло такого уровня, что вопрос о месте теоретического образа вакуума в структуре физического знания себя явственно обозначил. В представленном исследовании использовались лишь те факты и понятия, которые получили достаточное освещение в физической литературе. Тем не менее, многие вопросы, затронутые здесь, в самой физике являются еще гипотезами. Однако соответствие вакуума всем признакам, предъявляемым к исходной абстракции, представляется настолько полным, что вряд ли можно вычленил какой-либо другой объект в физической теории, альтернативный ему в этом плане. Скорее, дальнейшее развитие физики приведёт к более глубокому пониманию свойств вакуума, что позволит углубить представления о самих критериях исходной абстракции. Так, уже сейчас можно сказать, что совмещение таких признаков как всеобщность и предельность, непосредственность в одном объекте, свидетельствует о нелинейном характере поведения его. Сам же вопрос об исходной абстракции может быть поставлен лишь в той научной теории, которая проявляет себя существенно несепарабель-

ной, дальнейшее развитие которой должно проводиться в рамках концепции холизма. Сам факт порождения целого указывает на диссипативность структуры исходной абстракции. Так что признаки исходной абстракции в диалектике могут быть синергетически дополнены такими уже ставшими метатеоретическими понятиями, как нелинейность, диссипативность, несепарабельность.

Решение вопроса об исходной абстракции в физике имеет важное методологическое значение, поскольку позволяет определить с чего следует начинать науку и приводит к реализации метода восхождения от абстрактного к конкретному, к воспроизведению в теории физического мира как конкретного, как целостности.

Постановка вопроса об исходной абстракции в физике, рассмотрение любого физического объекта как момента, элемента космологической эволюции Вселенной, в свою очередь, вносит коррективы в представление об историзме физических объектов.

До недавнего времени распространенной являлась точка зрения, согласно которой объекты в физике рассматривались как раз и навсегда заданные, об изменениях которых можно было говорить лишь на уровне функционирования.

Проблема историзма физических объектов тесно связана с тем обстоятельством, что свойства объектов (масса, заряд, спин и т. д.) проявляют себя в моменты спонтанного нарушения исходного вакуума в точках релятивистских фазовых переходов. Сами же объекты возникают как акцидентальные моменты в ходе самодвижения единого субстанционального целого также вследствие нарушения симметрий. В методологическом плане категории симметрии — асимметрии теснейшим образом связаны с категорией развития. Самодвижение Вселенной представляет собой непрерывную последовательность нарушений симметрии, что создает возможность для существования всего многообразия объектов с различными свойствами. Причем качественные характеристики объектов проявляют себя как качественные скачки в момент спонтанного нарушения симметрии в точках релятивистских фазовых переходов. Последствиями асимметрии в эволюции Вселенной являются и проявление на современном этапе различий четырех типов взаимодействий, и преобладание вещества над антивеществом, и наличие структурности Вселенной в мелких масштабах и многое-многое другое и, наконец, сама жизнь. Как отмечает Ф. Дж. Дайсон: «Жизнь — это тоже нарушение симметрии» [45. С. 70].

Таким образом, современное развитие физики приводит к новому взгляду на природу физических объектов. Историзм предполагает подход к объекту с точки его развития, с точки зрения качественных изменений в его структуре. Именно этим требованиям удовлетворяет современное

представление о природе физических объектов. Причем вопрос об историзме физических объектов возникает в космологических теориях, и это указывает на то, что рассмотрение физического объекта аспектом диалектики целого и части не приводит, как правило, к необходимости исторического анализа его эволюции. Аспектом же диалектики целого и момента такое рассмотрение становится необходимым.

§ 3.3. Философский анализ проблемы геометризации физики

Как было показано, в современной теории исследование физических процессов проводится в плане диалектики симметрии и асимметрии при сведении всех типов симметрий к геометрическим.

Квантовые калибровочные поля можно интерпретировать как связности в расслоениях пространства-времени. Изучение природы расслоений является ключевой задачей при построении единой теории поля. Если оставаться в рамках представлений о 4-мерном пространстве-времени, то путь к унификации всех известных типов взаимодействий лежит через геометрическую интерпретацию их как проявлений искривленно-расслоенного пространства. Эквивалентной этому подходу с математической точки зрения является теория, в основе которой лежит идея о многомерности пространства (теории Калуца—Клейна). В этом случае в фокусе рассмотрения оказываются не расслоения, а искривления в 11-мерном пространстве-времени. В вопросе выбора из этих эквивалентных математических описаний важное значение приобретает эвристический критерий, указывающий более прочную основу для дальнейшего движения познания. Но в любом случае речь идет о геометризации физики, о придании всем физическим объектам и явлениям геометрической интерпретации.

Распространенной является точка зрения, согласно которой в общей теории относительности устранено различие между материей и метрикой, сама метрика рассматривается как динамическое поле. В качестве довода очень часто приводится высказывание А. Эйнштейна: «Мы приходим к странному выводу: сейчас нам начинает казаться, что первичную роль играет пространство: материя же должна быть получена из пространства, так сказать, на следующем этапе. Пространство поглощает материю» [164. С. 243]. Прежде всего, высказывание Эйнштейна может неправильно истолковываться вследствие неточности в терминологии, ибо под материей здесь имеется в виду определенный её вид — вещество. Использование термина «материя» для обозначения вещества вообще характерно для физико-теоретических научных работ. Достаточно вспомнить «темную материю». Эту терминологию критически разобрал еще С. И. Вавилов [19], тем не менее, до сих пор этот недостаток не устранен. Следует в

связи с этим подчеркнуть, что использование категории материи для обозначения какой-либо частной её формы не раз служило в науке источником трудностей и недоразумений, что опять-таки подтверждается высказыванием А. Эйнштейна. Мечтой Эйнштейна, как отмечает Дж. Уилер, являлась возможность «объяснить все явления физического мира как проявления пустого искривленного пространства» [139 С. 20]. При этом глубокая мысль о динамическом характере геометрии, о динамическом характере пространства-времени не ограничивалась в понимании Эйнштейна представлением пространства без материи, ибо «то, что образует пространственный характер реальности, представляет собой в этом случае просто четырехмерность поля. Поэтому не существует „пустого“ пространства, т. е. нет пространства без поля», — пишет А. Эйнштейн [174]. Основной идеей Эйнштейна при построении единой теории поля была прежде всего идея единства природы. Так что интерпретация геометродинамики Эйнштейна и его последователей как теории, в которой вся материя сводится к геометрии, — это, в сущности, попытка уклониться от сложной философской проблемы, решение которой совсем не очевидно.

В основу анализа проблемы соотношения материи и пространства-времени, на наш взгляд, должно быть положено следующее. Сам факт возникновения слоев или конкретных способов компактификации N -пространственных измерений определяется динамикой эволюции физического вакуума, цепочкой спонтанных нарушений его симметрии. С методологической точки зрения выделение такого объекта как физический вакуум, с присущими ему нетривиальными чертами (нарушение принципа энергодоминантности, постоянство плотности энергии и давления), в качестве основного в физической теории, в качестве исходной абстракции, не может быть оставлен без внимания. Вопрос о вакууме встает в рамках вычлененного целого — суперполя. Подробный анализ современных космологических теорий, проведенный в предыдущей главе, показал, что, как считают физики, исходный вид материи нашей Вселенной вакуумный. Причем при описании истории эволюции нашей Вселенной рассматривается конкретный физический вакуум, способ существования которого, как отмечалось, есть четырехмерное пространство-время, организующее его. И в этом смысле вакуум может быть выражен через категорию содержания, а пространство-время — через категорию формы как внутренней организации вакуума. Здесь важно обратить внимание на следующее: сущность в своем существовании есть единство и формы и содержания. Абстрактное разделение их возможно лишь в познании, в действительности же они неразрывны. Рассмотрение по отдельности исходного вида материи — вакуума и пространства-времени нашей Вселенной самих по себе есть абсолютизация одной из противоположностей единства, есть отрыв формы от содержания.

Так что рассмотрение пространства самого по себе метафизично, есть формализм. Однако неправомерным является и лишение пространства-времени сущности. Как отмечает Гегель, «форма имеет в своем собственном тождестве сущность, равно как сущность имеет в своей отрицательной природе абсолютную форму. Нельзя, стало быть, спрашивать, каким образом форма присоединяется к сущности: ведь она видимость сущности внутри себя самой, имманентная ей собственная рефлексия» [32. С. 77]. Так что пространство-время в теории Суперобъединения не только не принимает суверенного характера в отрыве от материи, а по-прежнему выступает как форма существования материи, причем отношения формы и содержания наполняются здесь глубоким диалектическим смыслом. То, что формализм теории приводит к выражению всех свойств физических объектов только в терминах пространства-времени, еще не означает, что пространство-время в теории Суперобъединения получают субстанциональное значение в отрыве от материи. Так что встречающееся мнение, будто программа геометризации физики есть сведение физики к геометрии пространства-времени является глубоко ошибочным. Рассмотрим это подробнее.

С созданием общей теории относительности было установлено, что гравитационное поле характеризуется неразрывной связью с кривизной пространства-времени. При этом гравитационное поле не обладает такими локальными характеристиками, как энергия и импульс, в то время как все остальные поля этими характеристиками обладают, что обсуждалось выше. Таким образом, предшествующее развитие физики предполагало двойное рассмотрение полей: поле, с одной стороны, характеризует геометрические свойства пространства-времени, а, с другой стороны, само является источником этих свойств, т. е. в ОТО ситуация такова, что хотя и подчеркивается теснейшая связь между материей и формой её существования — пространством-временем, тем не менее, можно говорить, каким образом «форма присоединяется к сущности», т. е. уровень развития физики позволял их метафизическое разделение. Иными словами, в общей теории относительности до конца не преодолевается бисубстанциональное рассмотрение теоретического мира в физике: пространства-времени и самой материи.

В теории суперсимметрии единое суперполе описывает одновременно и геометрию пространства-времени, и квантованное поле. Процедура квантования означает введение принципа неопределенности, что привносит, в частности, в гравитационное поле такие привычные характеристики, как энергию и импульс. Иначе говоря, в суперсимметрии не материя геометризуется, и не геометрия материализуется, а мы имеем ситуацию, когда нельзя, стало быть спрашивать, «каким образом форма присоединяется к сущности: она есть лишь видимость сущности внутри себя самой».

Итак, для того, чтобы получить из формальной геометризированной теории суперполя теорию реальных процессов, необходимо его проквантовать. Процедура же квантования предполагает необходимость макрообстановки. Роль такой макрообстановки берёт на себя пространство-время с классической, неквантовой геометрией. Однако для того, чтобы получить пространство-время, надо вычленить макроскопическую составляющую суперполя, т. е. составляющую, которую с большой степенью точности можно было бы считать классической. Но разделение суперполя на классическую и квантовую составляющие является операцией приближенной, имеющей смысл далеко не всегда. Можно указать формальные границы, когда такая операция проведена быть не может. За этой границей стандартные ортодоксальные определения пространства-времени и материи теряют смысл. Они сводятся в одну общую категорию суперполя, не имеющего пока операционального определения. Известно, что операционализм как одна из разновидностей прагматического направления в философии, представителями которого являются П. У. Бриджмен и другие, подвергался оправданной критике со стороны зарубежных и отечественных философов. Ибо принятие операционалистского метода определения значения по Бриджмену приводит к тому, что многие общепринятые понятия кажутся «лишенными смысла». Здесь речь идет о критерии операциональности в том смысле, что «определение имеет физический смысл, если оно связывается с возможным экспериментом» [5; 119]. Нам неизвестно, по каким законам эволюционирует суперполе, потому что у нас нет классических объектов типа пространства-времени, в терминах которых мы могли бы определить проявления суперполя. По всей видимости, оно есть элемент более общей целостности и, само по себе многомерное, может являться результатом компактификации «более»-мерного, а, возможно, и бесконечномерного многообразия (уровней компактификации может быть несколько, а может быть и бесконечное множество). Таким образом, суперполе, являющееся предтечей, предысторией нашего мира, само может являться лишь элементом, частью другой целостности. Дальнейшая эволюция суперполя как целого приводит к возникновению различных видов материи, различных форм её движения, существующих в четырехмерном пространстве-времени, иными словами, всей той бесконечной по многообразию палитре явлений, представляющих наш мир.

Современное развитие физики дает основания для вывода о том, что категориальный прообраз материи и форм её существования — не вещь и её свойство, а отношение сущности и её реального существования. Именно подход к категориям материи и пространства-времени как к отношению сущности и её реального существования и позволяет решить те проблемы, которые возникают в физике в связи с её геометризацией. Категория сущности означает единую основу множества явлений, категория же содержа-

ния — основу данного конкретного, отдельного явления. Однако так как в теории суперсимметрии рассматривается суперсимметричное состояние всего физического мира, в котором все многообразие конкретных явлений, проявившееся в ходе эволюции Вселенной, еще не вычленено, то здесь представление о материи как о субстанции сводится к одному объекту — суперполю, и тем самым ставится вопрос о сущности суперполя. В данном случае отношение сущности в своем существовании может выражаться через отношение категорий содержания и его внутренней формы как единство и формы, и содержания. Таким образом, сама постановка вопроса о суверенности пространства-времени и вторичности материи несостоятельна, ибо несодержательно и само по себе отвлечение материи и пространства-времени друг от друга. Иными словами, сведение физики к геометрии — это, по существу, более глубокая по своему содержанию задача выработки в физике понятия диалектического целого как единственной формы отношения субстанционального к самому себе.

Итак, в плане категориального наполнения рассматриваемых процессов речь идет о диалектике содержания и формы, что означает их одновременное тождество и различие. Можно утверждать, что геометризация физики означает поиски внутренней формы организации конкретного содержания. Если ньютоновские представления о пространстве и времени есть только «кажимость» (это еще не форма), на что обращали внимание такие мыслители прошлого как Беркли, Кант, Гегель, Мах; четырехмерный мир Эйнштейна — Минковского — внешняя форма существования мира, то придание всем структурным единицам материи геометрической интерпретации есть восхождение к внутренней форме, когда «то, что являет себя как деятельность формы, есть далее, в той же мере собственное движение самой материи... и то, и другое, действие формы и движение материи есть одно и то же... Материя, как таковая, определена или необходимо имеет некоторую форму, а форма — это просто материальная, удерживающая форма» [32. С. 81–82]. Иными словами, геометризация физики есть выявление внутренней формы как способа организации содержания — вакуума нашей Вселенной. Однако тождество содержит в себе различие. Роль формы в развитии содержания выражается в том, что она организует и выражает содержание, удерживает непрерывные изменения содержания в определенных границах, придает ему определенную устойчивость. При этом именно содержание играет ведущую роль, изменения содержания всегда предшествуют изменениям формы. Форма может быть рассмотрена как структура, обеспечивающая функционирование данного содержания и определяющая границы его возможных изменений. Различие между содержанием и формой указывает на противоречивость их внутреннего единства, что составляет основу развития явления.

Если обратиться к теоретическим прогнозам о будущей эволюции Вселенной, то среди них имеется точка зрения о том, что Вселенная уже

сейчас вошла в новую фазу инфляции, что означает в итоге переход ее из одного вакуума в другой. Таким образом, методология исследований, основанная на диалектике взаимопревращений категорий содержания и формы, может оказаться востребованной. Это предопределяет необходимость поисков путей синтеза синергетического и диалектического подходов для понимания процессов самоорганизации Вселенной в рамках концепции геометризации.

§ 3.4. Самоорганизующаяся Вселенная и основной вопрос философии

«Великий основной вопрос всей... философии, — согласно Ф. Энгельсу, — есть вопрос об отношении мышления к бытию», «духа к природе» [168. С. 282–283]. Следует особенно подчеркнуть, что здесь речь идет об отношении мышления к бытию, а не об отношении сознания к материи. Потому и трансформация этого положения в проблему, что первично, — материя или сознание, представляется неоправданным расширением границ основного вопроса философии. В работе [2. С. 431] отмечается, что «специфическим за последние десятилетия в нашей стране стало сведение понятия духа к сознанию», хотя и очевидна несводимость проблемы «природа и дух» к проблеме «материя и сознание». Абсолютное противопоставление категорий материи и сознания уместно только в гносеологическом аспекте.

Если рассматривать эту проблему через призму современного развития естествознания, то мы неминуемо выходим на необходимость признания диалектического аспекта, — рассмотрения этих категорий как тождества противоположностей, причем противоположностей, взаимообуславливающих друг друга и взаимопревращающихся.

Отметим, прежде всего, что в современной философии категории материи и сознания рассматриваются, как правило, в гносеологическом плане, что вполне вписывается в известное ленинское определение материи через свою противоположность — сознание. Следует подчеркнуть, что Ленин акцентировал внимание на том обстоятельстве, что противоположность материи и сознания может быть рассмотрена только в плане гносеологии. Тем не менее, вопрос о субстанциональности материи зачастую отодвигается на задний план. На это обратил внимание Э. В. Ильенков в работе «Космология духа». Ильенков подчеркивает, что материя не только чисто гносеологическая категория, но и всеобщая субстанция. Как субстанция материя не есть сумма «конечных» частей и все теоретические положения, верные по отношению к каждой из ее конечных частей, становятся неверными по отношению к материи в целом. Если материя понимается как субстанция, то мышление, «взятое не в узкогносеологическом аспекте, а в плане его места

и роли среди других форм движения и развития материи — тоже форма движения материи, притом абсолютно-высшая его форма» [64. С. 430], — атрибут материи. В понятие же атрибута входит, что данная форма движения материи представляет собой **абсолютно необходимый продукт ее существования**. И диалектический принцип рассмотрения предопределяет взаимообусловленность этих противоположностей: как мышление не может существовать без материи, так и «материя не может существовать без мышления, — это положение может признавать только материалист-диалектик, материалист типа Спинозы» [64. С. 416].

Новейшее развитие физики характеризуется как раз выходом на эти казалось бы давно «разрешенные» вопросы. Едва ли не все отечественные учебники по философии еще в недавнем прошлом к решению основного вопроса философии подходили без какого-либо заметного трепета и решали его предельно ясно и в известном смысле однозначно. Однако строение мира оказалось сложнее. И потому обращение к проблеме отношения материи и сознания через призму достижений современной физики своевременное.

Сама попытка постановки вопроса о том, что первично, а что вторично (неверное прочтение основного вопроса философии, достаточно распространенное) уже с позиции диалектики не выдерживает никакой критики. Согласно Гегелю, «если же нечто существующее не в состоянии в своем положительном определении в то же время перейти в свое отрицательное (определение) и удержать одно в другом, если оно не способно иметь в самом себе противоречие, то оно не живое единство, не основание, а погибает в противоречии» [32. С. 66]. Так что, если речь идет о развитии предмета, о подлинном самодвижении его, то возникает вопрос о причинах этого, т. е. вопрос о противоречии. Это же относится и к саморазвитию материи, изначально содержащей в себе свою противоположность пусть в неразвитом виде, пусть на уровне отражения, причем отражения, не сводимого лишь к типам физических взаимодействий. Достаточно вспомнить корреляционные эффекты, обозначенные в парадоксе Эйнштейна—Подольского—Розена. Так же как и материя в своем развитии прошла длинный путь эволюции от суперсимметричного суперполя к данному нам в восприятии физическому многообразию мира, так и сознание явилось высшим этапом развития материи как атрибут, как абсолютно необходимое, не могущее исчезнуть, условие ее бесконечного существования. Интересна в этом смысле гипотеза, высказанная еще в 50-х годах прошлого века Э. В. Ильенковым. Гипотеза Ильенкова касается места и роли мыслящего духа в процессе постоянного возрождения миров и она подробно рассмотрена в работе авторов [53; 27]. Позволим себе вновь подробно изложить точку зрения Э. В. Ильенкова ввиду ее важной диалектической значимости. Естественно-научная практика, отмечает он, еще не показала обратного «тепловой смерти» процесса — процесса возрождения умерших миров. Каждая из этих

проблем, рассматриваемая порознь, в абстракции от другой, до сих пор не разрешена наукой. Автор задается вопросами, которые не только не противоречат материализму, но являются естественными для материализма диалектического: «Почему бы не предположить, что этот обратный процесс совершается при участии мыслящей материи, мыслящего духа — как одного из атрибутов мировой материи — и что без его участия, без его помощи этот процесс невозможен и немислим?» [64. С. 429]. «Следовательно, появление мыслящего духа в русле мирового круговорота — вовсе не случайность, которой с равным правом могло и не быть, а внутренне-полагаемое условие его собственного осуществления. Иначе это — не атрибут, а лишь „модус“» [64. С. 431]. «Не окажется ли, что эта проблема принципиально неразрешима вне исследования тех факторов, которые привносит с собой в ход мирового процесса мыслящий дух, тех условий, которые создаются при его неприменимом участии?» [64. С. 426]. Свою гипотезу Э. В. Ильенков назвал попыткой установить в общих чертах объективную роль мыслящей материи в системе мирового взаимодействия, убедительно доказывая, что диалектический материализм вовсе не отвергает факта обратного воздействия мышления на материальные процессы. Иначе «„высший цвет материи“ оказывается попросту „пустоцветом“ — красивым, но абсолютно бесплодным цветком... Все действительное развитие мировой материи в этом случае происходит рядом с его развитием, совершенно независимо от него, и его появление абсолютно никак не сказывается на судьбах всеобщего развития... Вряд ли такая роль соответствует месту мышления в системе форм движения мировой материи. Высшая форма ее движения не может быть самой бесплодной и самой ненужной из всех. Гораздо больше оснований предположить, что мыслящая материя — как высшая качественно форма движения всеобщей материи — играет немаловажную роль в процессе всеобщего круговорота — роль, соответствующую сложности и высоте ее организации» [64. С. 432].

Представляется, что пафос высказанной Ильенковым гипотезы имеет тот же вектор, что и вывод о «человекомерности Вселенной», сделанный на основе анализа антропного принципа. Однако практически все авторы, рассуждающие об антропном принципе, не переходят ту черту, ту грань, которая отличает материализм механистический от материализма диалектического. Это и является основным тормозом методологического обоснования антропного принципа, которое не оставило бы никаких лазеек для мистического или теологического бума вокруг поднятой проблемы.

Решение же основного вопроса философии в его имманентном русле (что первично бытие или мышление) определяет различие между материализмом и идеализмом, находящимися по разные стороны границы истолкования самого мышления и его взаимоотношений с материальным миром.

Как известно, эта проблема составляет одну, так называемую онтологическую сторону основного вопроса философии. Гносеологическая сторона основного вопроса философии — это вопрос о познаваемости мира. Хорошо известно, что в качестве наиболее анализируемого с этой позиции философа выступает И. Кант.

Современное состояние науки показывает между тем, что философия этого великого мыслителя намного опередила развитие естествознания его эпохи, предвосхитило целый пласт методологических проблем настоящего состояния науки. В современных инфляционных сценариях эволюции Вселенной речь идет о нашей Вселенной как об одной из бесчисленного множества мини-Вселенных с определенным способом организации вакуума, определенной сигнатурой пространства-времени. Известно, что жизнь нашего типа возможна только в трехмерном пространстве. Но сама геометрия нашей мини-Вселенной другая, по крайней мере, одиннадцатимерная. Остальные пространственные измерения компактифицированы. Не говоря уже о других мини-Вселенных, в которых возможна самая разнообразная сигнатура пространства-времени. В предыдущем параграфе говорилось о том, что категориальным прообразом материи как субстанции, являющей себя на начальных этапах эволюции Вселенной в недифференцированном вакуумном состоянии, и форм ее существования — пространства-времени, — не есть вещь и ее свойства, а есть отношение сущности и ее существования, выражаемое через отношение категорий содержания и формы. Реляционный подход специальной теории относительности есть не что иное, как признание единства противоположностей пространства и времени, выражаемое в необходимости использования четырехмерного пространственно-временного континуума, есть наметившийся переход от внешней формы к внутренней. Однако мы здесь еще не видим, что есть содержание, каково взаимовлияние внутренней формы и ее содержания. Геометризация физики и рассмотрение в ней всех объектов материального мира как проявлений искривленного, расслоенного многомерного пространства-времени с философской точки зрения есть исследование внутренней формы как способа организации физического вакуума, который выступает в данном аспекте как содержание. Человек, наделенный сознанием, при всем том является продуктом космологической эволюции именно нашей мини-Вселенной, для существования которой, в свою очередь, необходима вся другая вселенская целостность. Таким образом, многократно критикуемая идея Канта о вещи-в-себе, обладающей объективной реальностью, но не входящей в содержание наших ощущений, представляется с позиции современности чрезвычайно привлекательной. Познание же явлений действительно оказывается неотделимо от человека, ибо почему же тогда все мы одинаково воспринимаем наше пространство как трехмерное. Не потому ли, что сами являемся следствием предшествующей нашему появлению компактификации других про-

странственных измерений и по-другому ощущать уже не можем. Бесспорно, пространство-время нашей Вселенной существует независимо от нашего сознания, но суждения о всех данных опытах мы проводим именно в рамках «наших априорных синтетических суждений» о пространстве как трехмерном, а о времени как одномерном, хотя в других областях огромного, выходящего за рамки нашей мини-Вселенной мира (вещи-в-себе) возможны другие пространственно-временные сигнатуры. Это свидетельствует о соответствующей корреляции особенностей нашего отражения со свойствами мини-Вселенной, в которой мы существуем. **Только с точки зрения человека можем мы говорить о пространстве, о протяженности и т. п.** [68].

В такой критической ситуации, в которой оказалась наука на пороге XXI века, вполне закономерен возврат к представлениям о Мировом Разуме, но тогда вновь возникает вопрос: «А что было до него?»; возможен и теологический всплеск: «Бог создал мир». И опять же возникает вопрос: «А что было до него? И откуда он сам?» Даже если какая-либо из этих точек зрения и оказалась бы вдруг воспринятой наукой, то наука потому и наука, что неминуемо задалась бы вопросом о том, а что было до этого и почему это возникло. Выход из методологического тупика возможен лишь в признании, что положение противоположностей на разных этапах развития целостности меняется местами: в один какой-то период одна из них является господствующей, подчиняет себе другую, но при этом содержит ее в себя и для себя; а на другом этапе — другая. Потому и вопрос о первичности материи или сознания — некорректно поставленный вопрос. В данном случае речь должна идти не о телеологизме и даже не о телеологизме, а о телеономизме (термин введен К. Питтендрихом). Как отмечает Е. А. Мамчур: «Телеономизм отнюдь не тождествен телеологии. Телеономическими являются процессы, которые также как и телеологические, направлены к некоторой цели. Тем не менее, в отличие от телеологических, в случае с телеономическими процессами, понятие цели берется в кавычки» [87. С. 19]. Телеономические процессы в системе идут так, как если бы они стремились поддерживать целостность системы, нормальное функционирование системы. Становится ясно, что телеономические процессы присущи самоорганизующимся системам. В таком плане интересны представления, высказываемые в современной космологии о самовосстанавливающейся Вселенной [86]. И очень может быть, что этические проблемы, связанные с духовным развитием человечества, как-то связаны с возможностью проникновения в самое таинство телеономического устройства мира. И в этом мире «человек — бесконечное по своей природе существо, в нем развертывается удивительная творческая, подчас драматическая диалектика конечного и бесконечного» [52. С. 126].

Упова на «непостижимую эффективность математики в естественных науках», можно не сомневаться, что ученые не остановятся на дос-

тигнутом ими знании нашей мини-Вселенной, ибо свойства ее определяются целостностью, элементом которой она является.

§ 3.5. Антропологическая тема в современной физике

Современный этап развития физики и космологии на повестку дня выдвигает ряд проблем, которые дают несомненный вклад в развитие антропологии. Вклад этот настолько существенен, что представляется, что речь должна идти не об отдельных антропологических аспектах в современном естествознании, а об антропологической теме, что и вынесено нами в название параграфа.

Следует отметить, что ученые-физики живо интересовались вопросами, составляющими предмет антропологии, такими как смысл и цель жизни, проблема одиночества; этические же аспекты всегда были в центре внимания всех выдающихся мыслителей. Достаточно хотя бы привести высказывания Анри Пуанкаре о том, какую роль в вопросах морали играет наука: «Наука ставит нас в постоянное соприкосновение с чем-либо, что превышает нас... она заставляет предполагать нечто еще более великое: это зрелище приводит нас в восторг, который заставляет нас забывать самих себя и этим-то он высоко морален. Тот, кто его вкусил, кто увидел хотя бы издали роскошную гармонию законов природы, будет более расположен пренебрегать своими маленькими эгоистическими интересами, чем любой другой. Он получит идеал, который будет любить больше самого себя, и это единственная почва, на которой можно строить мораль» [115. С. 508–509]. Альберт Эйнштейн отмечает: «Как и Шопенгауэр, я прежде всего думаю, что одно из наиболее сильных побуждений, ведущих к искусству и науке, — это желание уйти от будничной жизни с ее мучительной жесткостью и безутешной пустотой, уйти от уз вечно меняющихся собственных прихотей. Эта причина толкает людей с тонкими душевными струнами от личных переживаний в мир объективного видения и понимания» [166. С. 39–40]. Чарльз Сноу в работе «Две культуры» специально обсуждает вопрос о «воинствующей моральности науки», отмечая, что «наука — саморегулирующаяся система... Элемент моральности включен в самый процесс научной работы. Стремление найти истину само по себе является моральным импульсом... Методы, которыми ученые пользуются, чтобы отыскать истину, обязывают их к строгой моральной дисциплине» [128. С. 123]. Отметим, что взаимная релевантность физики и этики подробно рассмотрена в работе Е. А. Мамчур [88]. Таким образом, до недавнего времени антропологические аспекты в физике были сопряжены, как правило, с элементами его эмоционального, нравственного, духовного и социального бытия.

Кроме всего прочего, достижения, полученные физикой всегда играли важную технологическую основу в системе жизнеобеспечения человека. Изучение же человека «извне», осмысление его отношений с природой, со Вселенной в целом до недавнего времени как бы оставались вне поля зрения физической науки. Можно сказать, что не было никаких оснований для выделения регулятивов поведения личности, предопределяемых самим устройством мира, в котором материальное и идеальное взаимопревращаются и взаимообуславливают друг друга. По всей видимости, в рамках классической физики, идеалом которой является представление об объекте познания как о самостоятельной сущности с присущими ему характеристиками, не зависящими от условий познания, а тем более от познающего его субъекта, это и невозможно.

Ситуация резко меняется с вступлением физики в неклассический период своего развития. основополагающей идеей в квантовой теории поля является концепция целостности, отличная от механистического представления об отношении целого и части. Выше говорилось о дискуссии между Н. Бором и А. Эйнштейном на природу физической реальности, приведшей к более глубокому пониманию концепции целостности. Отрицательное отношение авторов ЭПР-парадокса к ортодоксальной (боровской) интерпретации квантовой механики, доказательством неполноты которой и должна была послужить ситуация, описываемая в парадоксе, как неосуществимая, основывалось на допущении сепарабельности, означающей взаимно независимое существование пространственно разделенных вещей. Благодаря неравенствам Белла стала возможна экспериментальная проверка ситуаций по типу ЭПР-парадокса, которая указывает на корреляцию между ранее взаимодействующими подсистемами в квантовом мире. Это свидетельствует о том, что формы отражения материи не сводимы с физической точки зрения только к физическим взаимодействиям, переносящим информацию с конечной скоростью — скоростью света. Существуют эффекты корреляции состояний обеих частиц, независимо от того, как далеко они находятся, и это явление называют квантовой телепортацией. Таким образом, в квантовой физике сделан важный шаг в представлении о мире как единой, целостной, неразложимой единицы. И понимание этого может получить и антропологическую насыщенность, выражаемую такими сокровищами народной мудрости, как хорошо известные всем поговорки: «Не рой яму другому, сам в нее попадешь», «Не плюй в колодец» и др. Результаты, полученные в квантовой физике, в гуманистической постановке проблемы дают основание для наполнения понятия свободы в действиях человека Спинозовским содержанием «осознания необходимости». И это осознание необходимости в рамках дилеммы Добра и Зла получает дополнительное обоснование в современных физических интерпретациях реальности.

Еще большую антропологическую значимость имеют фундаментальные достижения физики элементарных частиц последних десятилетий. К XXI веку изменился объект изучения физики: им становится Вселенная в целом. Здесь задачи физики пересекаются с космологическими проблемами, и оба эти течения полноводной рекой вливаются в общую картину построения мира, в котором центральное место принадлежит Человеку. Речь идет о Вселенной «в человеческом измерении». Человек предстает как продукт космологической эволюции, и возникает научно прорабатываемая гипотеза о том, что существование Жизни и Разума теснейшим образом взаимосвязаны со свойствами физического вакуума, элементарных частиц и Вселенной в целом. Важным элементом в этом ряду является антропный принцип в космологии, который устанавливает связь Жизни и Разума с параметрами элементарных частиц, о чем подробно сказано в работе.

В свете новейших достижений физики более глубокое содержание получает и проблема смысла жизни Человека. Ч. Сноу пишет: «Мы все одиноки... Каждый встречает смерть один на один» [128. С. 22]. На протяжении всей истории человеческой рефлексии проблема жизни и смерти находилась в фокусе внимания величайших мыслителей; солидную историю имеет и вопрос об обусловленности человеческой рефлексии, философствования проблемами бытия и инобытия (смерти) человека, что особенно остро проявилось в философии А. Шопенгауэра и философии экзистенциализма (*Кьеркегор С. Болезнь к смерти; Сартр Ж.-П. Бытие и ничто; Хайдеггер М. Время и бытие; произведения А. Камю, Г. Марселя, Л. Шестова, Н. Бердяева и др.*). Именно через культуру человек приобретает определенное психологическое равновесие, приближаясь к определенной выработанной в ней системе ценностей, в которой переосмысливаются вопросы жизни и смерти. То, что эта проблема может быть затронута в физике, еще до недавнего времени казалась маловероятной. И тем не менее...

Вспомним хотя бы о двух мирах, к которым приводит теория суперструн, описываемых симметрией $E_8 \times E_8'$. В теории рассматриваются и другие модели устройства мира. Возможно, какие-либо прогнозы пока еще преждевременны. Но, тем не менее, необузданная фантазия физиков уводит нас за «горизонты бытия», открывает простор для диалектических рассуждений о тождестве противоположных миров, о взаимообусловленности и взаимопревращаемости их. И может оказаться, что духовность, данная человеку через самоосознание им самого себя, является важным звеном в мировом круговороте, а, возможно, и необходимым условием существования того, что мы, противопоставляя сознанию, называем материей. По крайней мере, основным принципам материализма диалектического это никак не противоречит.

Современный этап развития физики, как уже отмечалось, характеризуется эпистемологическим поворотом, связанным с тем, что в разрабатываемых ныне экстраполяционных унифицированных теоретических моделях эволюции Вселенной проблема субъект-объектных отношений в ракурсе антропоцентрической сущности человека выдвигается на передний план.

Содержанием философской антропологии является тема человека, поиски ответа на вопрос, специально выделенный И. Кантом, «Что такое человек?» Выделяют два антропологических подхода к человеку — биологический и функционалистский, что свидетельствует о полиморфности человека как предмета междисциплинарного исследования. Принято считать, что природа человека биосоциальна, что он представляет собой самую сложную из живых разумных биосистем. При этом всегда подразумевалось, что физические системы более просты, чем биологические структуры, и физика является лишь основой технологии, занимая важное, но вспомогательное место при изучении человека. Сейчас ситуация изменилась в корне.

В предыдущем параграфе главы специально подчеркивалось, что сознание не тождественно мышлению, ибо помимо рационального познания включает в себя в случае каждого отдельного индивида чувственное отражение действительности, эмоции, переживания и т. д. Что касается духа, то это понятие оказывается в центре антропологических и экзистенциалистских исследований, выделяющих в качестве основных признаков духа наряду с разумом также любовь, сострадание, совесть, милосердие, раскаяние и др. Однако рассмотрение «духа как божественного элемента в человеке», согласно Бердяеву, утверждавшему, что «реальность духа имеет другой генезис, это реальность не от объекта, а от Бога» [8. С. 366], не может быть сколько — либо серьезно воспринято в естественнонаучных дисциплинах. Как отмечалось, современная физическая наука ставит вопрос о материи как субстанции в Спинозовском понимании. Под таким углом зрения материя как самодвижущаяся и самовосстанавливающаяся субстанция на некотором этапе своей эволюции порождает мыслящий дух как необходимый атрибут своего существования. В равной степени, и то отличительное от всех других природных явлений свойство человека, составляющее его сущность, — его духовность, должна рассматриваться как необходимое условие этого функционирования. Излишне жестко противопоставлять рациональное и иррациональное в человеке, ибо одно без другого невозможно: они взаимодополняют, взаимообуславливают друг друга, взаимопреобразуются, образуя единое целое — мыслящий дух. В современных космологических концепциях ясно прослеживается идея телеономичности Вселенной, и в этой связи в рамках синергетического видения ее эволюции напрашивается вопрос о роли и месте мыслящего духа в этом самоорганизующемся процессе. Может ли считать себя материалист — материалистом не механистического толка, не отводя хотя бы в экстраполяциях видную роль такому феномену

как дух и духовность. Иными словами, проблемы, обсуждаемые в современной науке, приводят к субстанционально-аксиологическому аспекту в понимании основного вопроса философии.

Так что, антропный принцип в космологии перерастает рамки специальной научной дисциплины, ибо затрагивает вопрос о тех факторах, которые привносит с собой в ход мирового процесса «мыслящий дух», тех условий, которые создаются при его непереносимом участии.

В свете новейших достижений физики более глубокое содержание получает и проблема смысла жизни Человека. Ибо «особое место» человека в природе (М. Шерер) определяется в том числе и тем, что он единственное существо, знающее о смерти. И потому, осознание самого себя всегда идет вкуче с осознанием предельных границ индивидуального бытия, с поисками ответа на вопрос о смысле, целях и предназначении своего существования. На протяжении всей истории человеческой рефлексии этот вопрос находился в фокусе внимания величайших мыслителей.

Возможность такого мироустройства напрямую затрагивают личностно-ценностные ориентиры человека, способствует господству психологической установки в нем на фроммовское «бытие» в противоположность установки «на обладание», подводят естественнонаучную основу для «этики добродетелей». Иными словами, в физике возникла необходимая почва для рассмотрения антропологических идей с позиции новейших научных результатов.

Заключение

Современные представления об эволюции Вселенной явственно свидетельствуют о том, что она не является теоретически устойчивой. Все попытки выполнить непертурбативные вычисления в квантовой хромодинамике или в теории струн, к сожалению, успехом не увенчались по сей день. Во многих работах проблема квантовой устойчивости попросту не рассматривается, и связано это с тем, что физики не в состоянии просчитать устойчивость ни одного из классических вакуумных решений. Возможно, следует искать новые подходы в решении проблемы непертурбативности. На феноменологическом уровне понятно, что эволюция Вселенной представляет собой самоорганизующийся процесс и хорошо вписывается в синергетические представления. Однако ирония судьбы состоит в том, что хотя синергетика своим происхождением обязана физическим и физико-химическим исследованиям и оказалась чрезвычайно широко востребованной практически во всех отраслях знаний, в физике же элементарных частиц и космологии мы находим лишь фрагменты ее применения. Интересно было бы исследовать конфайнмент кварков с точки зрения притягивающего множества (аттрактора), рассмотреть динамику компактификации пространственных измерений под тем же углом зрения, проанализировать вопрос о фрактальности Вселенной. К сожалению, теоретических работ, написанных в физике элементарных частиц и в космологии под таким углом зрения, явно недостаточно. Включение синергетических методов в круг рассматриваемых в этой области знания вопросов мог бы сформировать базисную теорию современной физической исследовательской программы и определить положительную эвристику исследований.

В заключение хотелось бы присоединиться к точке зрения, высказанной лауреатом Нобелевской премии, академиком В. Л. Гинзбургом в обзорной статье [37], вышедшей в журнале «Успехи физических наук» в 1999 году под рубрикой «Физика наших дней»: «Методология и философия науки у нас в России сейчас не в почете. Такова естественная реакция на извращения советского периода, когда не существовала свободы мнений и насаждался догматический диамат. Но методология и философия науки остаются, конечно, важнейшими ингредиентами научного мировоззрения. В условиях идеологической свободы внимание к этим вопросам необходимо у нас возродить» [37. С. 436]. Полностью разделяя тревогу В. Л. Гинзбурга, отметим, что то, что названо им «догматическим диаматом», надо понимать буквально как диамат догматический, как то, что навязывалось под этим именем, но из чего диалектика была уродливым образом выхолощена.

Литература

1. Абдильдин Ж. М. Проблема начала в теоретическом познании. Алма-Ата, 1967.
2. Алексеев П. В., Панин А. В. Философия. Учебник. 3-е издание. М., 2003.
3. Андрианов И. В., Баранцев Р. Г., Маневич Л. И. Асимптотическая математика и синергетика. М.: УРСС, 2004.
4. Анищенко В. С. Динамические системы // Соросовский образовательный журнал. 1997. № 11. С. 77–84.
5. Аришинов В. И., Буданов В. Г., Суханов А. Д. Естественно-научное образование гуманитариев: на пути к единой культуре // Общественные науки и современность. 1994. № 5. С. 113–117.
6. Астрономия и современная картина мира. М., 1996.
7. Ахундов М. Д., Илларионов С. В. Естествознание: системность и динамика. М., 1990. С. 90–108.
8. Бердяев Н. А. Философия свободного духа. М., 1994. С. 366.
9. Берестецкий В. Б. Нуль-заряд и асимптотическая свобода // УФН. Т. 120. Вып. 3. 1976.
10. Бернштейн Г., Филлип С. Э. Расслоение и квантовая теория // УФН. Т. 136. Вып. 4. 1982.
11. Боголюбов Н. Н. и др. Препринт // Объед. ин-т ядер. исследов.: Д-1968, Д-2015, Р-2141. Дубна, 1965.
12. Богомолов А. С. «Наука логики» Гегеля и современные проблемы диалектики // Вопросы философии. 1981. № 2.
13. Бор Н. Атомная физика и человеческое познание. М., 1961.
14. Бор Н. Избранные научные труды. М., 1971. Т. 2.
15. Бор Н. Квантовая физика и философия // Вопросы философии. 1964. № 8.
16. Борн М. Размышления и воспоминания физика. М., 1977.
17. Борн М. Физика в жизни моего поколения. М., 1963.
18. Бранский В. П., Пожарский С. Д. Синергетический историзм как новая философия истории // Синергетическая парадигма. М.: Прогресс-Традиция, 2003. С. 36–49.
19. Вавилов С. И. Идеология современной физики и задачи советских физиков // История и методология естественных наук. М., 1968.
20. Вайнберг С. Идеальные основы единой теории слабых и электромагнитных взаимодействий // На пути к единой теории поля. М., 1980.
21. Вайнберг С. Мечты об окончательной теории. М.: УРСС, 2004.
22. Вайнберг С. Первые три минуты: Современный взгляд на происхождение Вселенной. М., 1981.

23. Вайнберг С. Проблема космологической постоянной // УФН. Т. 158. Вып. 4. 1989.
24. Вайнштейн А. И., Захаров В. И., Новиков В. А., Шифман М. А. Инстантонная азбука // УФН. Т. 136. Вып. 4. 1982.
25. Вейль Г. Математическое мышление. М., 1989.
26. Верешков Г. М., Минасян Л. А., Саченко В. П. Диалектика целого и части в физике кварков // Философские науки. № 8. 1988.
27. Верешков Г. М., Минасян Л. А. Эпоха критических экспериментов в Фундаментальной физике и космологии // Научная мысль Кавказа. № 3. 2004.
28. Вейль Г. Симметрия. М., 1968. Изд. 2. М.: УРСС, 2002.
29. Вигнер Е. Этюды о симметрии. М., 1971. Изд. 2. М.: УРСС, 2002.
30. Визгин В. П. «Эрлангенская программа» и физика. М., 1975.
31. Гегель Г. Наука логики. Т. 1. М., 1970.
32. Гегель Г. Наука логики. Т. 2. М., 1971.
33. Гегель Г. Энциклопедия философских наук. М., 1975. Т. 2.
34. Генденштейн Л. Э., Криве И. В. Суперсимметрия в квантовой механике // УФН. Т. 146. Вып. 4. 1985.
35. Гейзенберг В. Шаги за горизонт. М., 1987.
36. Гинзбург В. Л. О физике и астрофизике. М., 1980.
37. Гинзбург В. Л. Какие проблемы физики и астрофизики представляются сейчас особенно важными и интересными // УФН. Т. 169. № 4. 1999. С. 419–441.
38. Глэшоу Ш. На пути к объединенной теории — нити в гобелене // На пути к единой теории. М., 1980.
39. Гольфанд Ю. А., Лихтман Е. П. Расширение алгебры генераторов группы Пуанкаре и нарушение P-инвариантности // Письма ЖЭТФ. Т. 13. 1971.
40. Гольфанд Ю. А., Лихтман Е. П. О расширении алгебры генераторов группы Пуанкаре биспинорными генераторами // Проблемы теоретической физики. М., 1979.
41. Готт В. С., Нарский И. С. Принцип восхождения от абстрактного к конкретному и его методологическая роль // Философские науки. № 2, 1986.
42. Гриб А. А. Нарушение неравенств Белла и проблема интерпретации квантовой теории // Философские исследования оснований квантовой теории. К 25-летию неравенств Белла. М., 1990.
43. Грин Б. Элегантная Вселенная. М.: УРСС, 2004.
44. Гут А., Стейнхардт П. Раздувающаяся Вселенная // В мире науки. № 7, 1984. С. 56–69.
45. Дайсон Ф. Д. Будущее воли и будущее судьбы // Природа. № 8. 1982.
46. Даниэль М., Виалле С. М. Геометрический подход к калибровочным полям типа Янга—Миллса // УФН. Т. 136. Вып. 3. 1982.
47. Делокаров К. Х. Философия и современная физика. М., 1975.
48. Дикке Р. Гравитация и Вселенная. М., 1972.
49. Дэвис П. Случайная Вселенная. М., 1985.
50. Дэвис П. Суперсила. М., 1989.

51. Жаров С. Н. Загравочные абстрактные объекты как системообразующий фактор становления научной теории // Естествознание: системность и динамика. М., 1990. С. 33–48.
52. Жданов Ю. А. Избранное. Т. 2. Ростов н/Д, 2001.
53. Жданов Ю. А., Минасян Л. А. Антропный принцип и «Космология духа» // Научная мысль Кавказа. Т. 4, 2000. С. 3–22.
54. Жданов Ю. А., Минасян Л. А. Самоорганизующаяся Вселенная и основной вопрос философии // Нелинейная динамика и постнеклассическая наука. М.: Изд-во РАГС, 2003. С. 51–58.
55. Жог В. И. Развитие физических понятий. М., 1987.
56. Зельдович Я. Б. Дополнение 6 // Вайнберг С. Первые три минуты. М., 1981.
57. Зельдович Я. Б. Письма Астрономическому журналу. Т. 7. 1981.
58. Зельдович Я. Б. Теория вакуума, быть может, решает загадку космологии // УФН. Т. 133. Вып. 3, 1981.
59. Зельдович Я. Б., Новиков И. Д. Строение и эволюция Вселенной. М., 1975.
60. Зельдович Я. Б., Хлопов М. Ю. Масса нейтрино в физике элементарных частиц и космологии ранней Вселенной // УФН. Т. 135. Вып. 1. 1981. С. 45–77.
61. Зельманов А. Л. Многообразие материального мира и проблема бесконечной Вселенной // Бесконечность и «Вселенная» М., 1969.
62. Идлис Г. М. Основные черты наблюдаемой астрономической Вселенной как характерные свойства обитаемой космической системы. Изв. Астр. Ин-та Ан КазССР. 1958. Т. 7. С. 39–54.
63. Ильенков Э. В. Диалектика абстрактного и конкретного в «Капитале» Маркса. М., 1960.
64. Ильенков Э. В. Философия и культура. М., 1991.
65. Казютинский В. В. Антропный принцип в научной картине мира // Астрономия и современная картина мира. М., 1996. С. 144–182.
66. Казютинский В. В. Философские проблемы исследования Вселенной // Вопросы философии. № 12. 1990.
67. Каку М. Введение в теорию суперструн. М.: Мир, 1999.
68. Кант И. Сочинения. Т. 3. М., 1964.
69. Капица С. П., Курдюмов С. П., Малинецкий Г. Г. Синергетика и прогнозы будущего. М.: Наука, 1997.
70. Карнап Р. Философские основания физики. М., 1971. Изд. 2. М.: УРСС, 2003.
71. Картер Б. Совпадения больших чисел и антропологический принцип в космологии // Космология. Теория и наблюдения. М., 1978.
72. Кейн Г. Современная физика элементарных частиц. М., 1990.
73. Клайн Д. Б., Руббиа К., Меер С. ван дер. Поиски промежуточных векторных бозонов // УФН. Т. 139. Вып. 1. 1983; Руббиа К. Экспериментальное наблюдение промежуточных векторных бозонов W^+ , W^- , Z^0 // УФН. Т. 143. Вып. 2. 1985.
74. Князева Е. Н., Курдюмов С. П. Синергетика как новое мировоззрение: диалог с Пригожиным // Вопросы философии. № 12. 1992.
75. Копнин П. В. Диалектика как логика. Киев, 1961.

76. Кумпф Ф., Оруджев З. Диалектическая логика. М., 1979.
77. Кун Т. Структура научных революций. М., 1975.
78. Курдюмов С. П. Законы эволюции и самоорганизации сложных систем // Философские аспекты информатизации. М., 1989.
79. Курдюмов С. П., Малинецкий Г. Г., Потанов А. В. Синергетика — новое направление. М., 1989.
80. Ландау Л. Д., Померанчук И. Л. // Доклады АН СССР. 1955. Т. 102.
81. Ланжевэн П. Избранные произведения. М., 1949.
82. Латыпов Н. Н., Бейлин В. А., Верешков Г. М. Вакуум, элементарные частицы и Вселенная. М., 2001.
83. Лекторский В. А. Объекты, субъекты, познание. М., 1980.
84. Леишевич Т. Г. Современна ли диалектика? III Минасяновские чтения (г. Ростов-на-Дону, 16.05.03) // Вестник Российского Философского общества, 2003. № 2. С. 40–43.
85. Линде А. Д. Раздувающаяся Вселенная // УФН. Т.144. Вып. 2. 1984. С. 177–184.
86. Линде А. Д. Физика элементарных частиц и инфляционная космология. М., 1990.
87. Мамчур Е. А. Причинность и рационализм // Причинность и телеономизм в современной естественнонаучной парадигме. М., 2002.
88. Мамчур Е. А. Физика и Этика // Физика в системе культуры. М., 1996. С. 99–116.
89. Маркс К. Метод политической экономии // Маркс К., Энгельс Ф. Соч. М., 1958. Т. 12.
90. Матвеев В. А., Рубаков В. А., Тавхелидзе А. Н., Шапошников М. Е. Несохранение барионного числа в экстремальных условиях // УФН. Т.156. Вып. 2. 1988.
91. Микешина Л. А. Философия познания. Полемиические главы. М.: Прогресс—Традиция. 2002.
92. Микулинский С. Р., Маркова Л. А. Чем интересна книга Т. Куна «Структура научных революций»? // Кун Т. Структура научных революций. М., 1975. С. 263–282.
93. Минасян А. М. Диалектика как логика. Ростов н/Д, 1991.
94. Минасян Л. А. Вакуум. М., 1993.
95. Минасян Л. А. Космология как наука: генезис, этапы и перспективы развития // Научная мысль Кавказа. 2003. Т. 3.
96. Мивидобадзе Т. А. Диалектическое целое и момент // Автореферат дис ... докт. филос. наук. Тбилиси, 1979.
97. Мякишев Г. Я. Динамические и статистические закономерности в физике. М., 1973.
98. Наан Г. И. Понятие бесконечности в математике и космологии // Бесконечность и «Вселенная». М., 1969.
99. Научная картина мира как компонент научного мировоззрения. Материалы симпозиума. М.; Обнинск, 1983.
100. Николис Г., Пригожин И. Познание сложного. М.: УРСС, 2003.
101. Новиков И. Д. Эволюция Вселенной. М., 1979.

102. Ньютон И. Математические начала натуральной философии. М., 1989.
103. Окладной В. А. Возникновение и соперничество научных теорий. Свердловск, 1990.
104. Павленко А. Н. Европейская космология. М., 1997.
105. Пайс А. Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна. М., 1989.
106. Панченко А. И. Теорема Дж. Белла и реализм Эйнштейна // Философские исследования оснований квантовой механики. К 25-летию неравенств Белла. М., 1990.
107. Пахомов Б. Я. Становление современной физической картины мира. М., 1985.
108. Пенроуз Р. Новый ум короля. М.: УРСС, 2003.
109. Пенроуз Р. Структура пространства-времени. М., 1972.
110. Планк М. Единство физической картины мира. М., 1966.
111. Планк М. Избранные труды. М., 1975.
112. Планк М. Картина мира современной физики // УФН. Т. 9. Вып. 4. 1929.
113. Поппер К. Нищета историцизма // Вопросы философии. № 8, 9, 10. 1992.
114. Поппер К. Что такое диалектика? // Вопросы философии. № 1. 1995. С. 18–138.
115. Пуанкаре А. О науке. М., 1983.
116. Пригожин И. Конец определенности. М.; Ижевск, 2000.
117. Пригожин И., Стенгерс. Время, хаос, квант. М.: УРСС, 2003.
118. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. М., 1986. Изд. 4. М.: УРСС, 2003.
119. Рихтер Б. От ψ к очарованию. Эксперименты 1975–1976 гг. // Открытие очарованной частицы. М., 1978.
120. Рожанский И. Д. Развитие естествознания в эпоху античности: Ранняя греческая наука «о природе». М., 1979.
121. Розенталь И. Л. Элементарные частицы и структура Вселенной. М., 1984.
122. Салам А. Калибровочное объединение фундаментальных сил // На пути к единой теории поля. М., 1980.
123. Сачков Ю. В. Основания физического знания: судьбы вероятности // Философские исследования современных проблем квантовой теории. М., 1991.
124. Синергетика и психология. Тексты. Вып. 1. Методологические вопросы. М., 1997.
125. Синергетическая парадигма. Нелинейное мышление в науке и искусстве. М.: Прогресс-Традиция, 2002.
126. Синергетическая парадигма. Человек и общество в условиях нестабильности. М.: Прогресс-Традиция, 2003.
127. Синергетическая парадигма. Когнитивно-коммуникативные стратегии современного научного познания. М.: Прогресс-Традиция, 2004.
128. Сноу Ч. Две культуры. М., 1973.
129. Современная прикладная теория управления. Ч. 1. / Под. ред. А. А. Колесникова. М.; Таганрог, 2000.
130. Старобинский А. А. // Письма ЖЭТФ. Т. 30, 1979.
131. Степин В. С. Саморазвивающиеся системы: новые стратегии деятельности // Вестник Российского Философского общества. № 2. 2003. С. 14–29.

132. *Стетин В. С.* Становление научной теории. Минск, 1976.
133. Структура и развитие науки. М., 1978.
134. *Тинг С.* Открытие J -частицы (личные впечатления) // Открытие очарованной частицы. М., 1978.
135. *Тягло А. В., Меськов В. С.* Логико-философский анализ темы Белла // Философские исследования оснований квантовой механики. К 25-летию неравенств Белла. М., 1990.
136. *Уайтхед А. Н.* Избранные труды по философии. М., 1990.
137. *Уилер Дж.* Гравитация, нейтрино и Вселенная. М., 1962.
138. *Уилер Дж.* Квант и Вселенная // Астрофизика, кванты и теория относительности. М., 1982.
139. *Уилер Дж.* Предвидение Эйнштейна. М., 1970.
140. *Утияма Р.* К чему пришла физика. М., 1986.
141. *Файнберг В. Я.* Специфические черты квантовой теории элементарных частиц // Философские вопросы физики элементарных частиц. М., 1963.
142. *Федер Е.* Фракталы. М., 1991.
143. *Фейнман Р.* Характер физических законов. М., 1968.
144. *Филатов А. Н.* Теория устойчивости. М.; Ижевск, 2003.
145. Физика микромира: Маленькая энциклопедия. М., 1980.
146. *Фок В. А.* Дискуссия с Нильсоном Бором // Вопросы философии. № 8. 1964.
147. Фракталы в физике. М., 1980.
148. *Хакен Г.* Информация и самоорганизация. М., 1991. Изд. 2. М.: КомКнига, 2005.
149. *Хакен Г.* Основные понятия синергетики // Синергетическая парадигма. Многообразие поисков и подходов. М. С. 28–55.
150. *Хакен Г.* Синергетика. М., 1980.
151. *Хакен Г.* Синергетика. М., 1985.
152. *Хакен Г.* Тайны природы. М.; Ижевск, 2003.
153. *Хлопов М. Ю.* Космомикрофизика. М., 1989. Изд. 2. М.: УРСС, 2003.
154. *Хойл Ф.* Галактики, ядра, квазары. М., 1968.
155. *Г'Хоофт Г.* Калибровочные теории сил между элементарными частицами // УФН. Т. 135. Вып. 3. 1981.
156. *Чернавский Д. С.* Синергетика и информация. Динамическая теория информации. М.: УРСС, 2004.
157. *Чернов В. И.* К вопросу о соотношении понятий «атрибут» и «форма существования» // Философские науки, 1972. № 6.
158. *Шептулин А. П.* Система категорий диалектики. М., 1967.
159. *Шкловский И. С.* Проблемы современной астрофизики. М., 1982.
160. *Шредингер Э.* Новые пути в физике. М., 1971.
161. *Шредингер Э.* Существуют ли квантовые скачки? // Шредингер Э. Избранные труды по квантовой механике. М., 1976.
162. *Эйнштейн А.* Квантовая механика и действительность // Эйнштейн А. Собр. научн. трудов. М., 1966. Т. 3.

163. *Эйнштейн А.* Собр. научн. трудов. Т. 1. М., 1965.
164. *Эйнштейн А.* Собр. научн. трудов. Т. 2. М., 1966.
165. *Эйнштейн А.* Собр. научн. трудов. Т. 3. М., 1966.
166. *Эйнштейн А.* Собр. научн. трудов. Т. 4. М., 1967.
167. *Энгельс Ф.* Диалектика природы // Маркс К., Энгельс Ф. Соч. М., 1961. Т. 20.
168. *Энгельс Ф.* Людвиг Фейербах и конец немецкой классической философии // Маркс К., Энгельс Ф. Соч. М., 1961. Т. 21.
169. *Bell J. S.* On the Einstein Podolsky Rosen Paradox // Physycs. 1964. Vol. 1. N. 3.
170. *Bohm D., Hiley B.* On the intuitive understanding of nonlocality as implied by quantum theory // Ibid. 1975. Vol. 5. № 1.
171. *Bondi H.* Cosmology, Cambridge Univ. Press., Cambridge, 1959.
172. *Dicke R. H.,* Nature, 192, 440, 1961.
173. *Ehrenfest P.* // Proc. Amsterdam Acad. 1917. Vol. 20.
174. *Einstein A.* Foreword // Jammer M. Concepts of Space. The History of Theories of Space in Physics. Cambridge Mass, 1954.
175. *Fock V. A.* // Zs. Phys. 1927. Bd. 39.
176. *Fritzsche H., Gell-Mann M., Leutwyler H.* // Phys. Lett., Ser. B. 1973. Vol. 47.
177. *Glashow S., Illiopylos J., Maiani L.* // Phys. Rev. Ser. D. 1970. Vol. 2.
178. *Green M. B., Schwarz J. H.* // Phys. Lett. 1985. Vol. 151.
179. *Grischuk L. P., Zel'dovich Ja. B.* // Quantum Structure of Space-Time. Cambridge, 1982.
180. *Gross D., Wilzek F.* // Phys. Rev. Lett. Vol. 30; *Politzer H. D.* // Ibid.
181. *Guth A. H.* Inflationary Universe: a possible solution of the horizon and flatness problems // Phys. Rev. 1981. Vol. 23. N. 2.
182. *Guth A. H., Steinhardt P. J.* The inflationary Universe // Scientific American. 1984. Vol. 250. N. 5.
183. *Hartle J. B., Howking S. W.* // Ibid. Vol. 28. Howking S. W. Les Houches Lectures. 1983.
184. *Higgs P.* // Phys. Rev. Lett. 1964. T. 13.
185. *t' Hooft G.* // Nuch. Phys., Ser. B. 1974. Vol. 79.
186. *Jang C. N., Mills R. L.* // Phys. Rev. 1954. Vol. 96.
187. *Kaluza T. H.* // Sitzungsbar Preuss. Akad. Wiss. Berlin. Math. and Phys. Kl. Berlin, 1921.
188. *Klein O.* // Zs. Phys. 1926. Bd. 37.
189. *Kobayashi M., Maskawa T.* // Prog. Theor. Phys. 1973. Vol. 49.
190. *London F.* // Ibid. 1927. Bd. 42.
191. *Poljakov A. M.* // Nucl. Phys. B. 1976. Vol. 120.
192. *Poljakov A. M.* // Phys. Lett. 1975. Vol. 59 B. Belavin A. A // Ibid.
193. *Schwarzschild K.* // Sitzungsbar. Deutsch. Akad. Wiss. Math.—Phys.—Techn. Kl. Berlin, 1916.
194. *Zel'dovich J. B., Pitaevskij L. P.* // Consm. Math. Phys. 1.

Уважаемые читатели! Уважаемые авторы!

Наше издательство специализируется на выпуске научной и учебной литературы, в том числе монографий, журналов, трудов ученых Российской академии наук, научно-исследовательских институтов и учебных заведений. Мы предлагаем авторам свои услуги на выгодных экономических условиях. При этом мы берем на себя всю работу по подготовке издания — от набора, редактирования и верстки до тиражирования и распространения.



Среди вышедших и готовящихся к изданию книг мы предлагаем Вам следующие:

- Гейзенберг В. Философские проблемы атомной физики.
Гейзенберг В. Часть и целое (беседы вокруг атомной физики).
Карнап Р. Философские основания физики. Введение в философию науки.
Бунге М. Философия физики.
Поппер К. Р. Объективное знание. Эволюционный подход.
Борн М. Моя жизнь и взгляды.
Борн М. Лекции по атомной механике.
Шредингер Э. Мой взгляд на мир. Пер. с нем.
Джеммер М. Понятие массы в классической и современной физике.
Рейхенбах Г. Философия пространства и времени.
Рейхенбах Г. Направление времени.
Уитроу Дж. Естественная философия времени.
Грюнбаум А. Философские проблемы пространства и времени.
Вигнер Э. Инвариантность и законы сохранения. Этюды о симметрии.
Эддингтон А. Пространство, время и тяготение.
Эддингтон А. Относительность и кванты.
Могилевский Б. М. Природа глазами физика.
Захаров В. Д. Физика как философия природы.
Овчинников Н. Ф. Методологические принципы в истории научной мысли.
Овчинников Н. Ф. Принципы теоретизации знания.
Новиков А. С. Научные открытия: повторные, одновременные, своевременные...
Сачков Ю. В. Научный метод: вопросы и развитие.
Койре А. Очерки истории философской мысли.
Хайтун С. Д. История парадокса Гиббса.
Окунь Л. Б. Физика элементарных частиц.
Окунь Л. Б. Лептоны и кварки.
Планк М. Введение в теоретическую физику. Кн. 1-5: Общая механика; Механика деформируемых тел; Теория электричества и магнетизма; Оптика; Теория теплоты.
- Серия «Классики науки»
- Сморodinский Я. А. Избранные труды.
Гейзенберг В. Избранные труды.
Тодхантер И. История математических теорий притяжения и фигуры Земли от Ньютона до Лапласа.

По всем вопросам Вы можете обратиться к нам:
тел./факс (095) 135-42-16, 135-42-46
или электронной почтой URSS@URSS.ru
Полный каталог изданий представлен
в Интернет-магазине: <http://URSS.ru>

Научная и учебная
литература

3.7, 3.15, 3.22,

3.26,

$$p^{\alpha\beta} = A^{\alpha} B^{\beta} - A^{\beta} B^{\alpha}$$

4.4

$$\vec{E} = \frac{\vec{\nabla} \varphi - \vec{\nabla} \times \vec{A}}{4\pi}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

В книге обсуждаются
 современные физические идеи
 построения единой теории поля
 и космологии, дается их философский
 анализ через призму методологических
 принципов диалектики и синергетики.
 Книга может оказать существенную
 помощь при подготовке и сдаче
 кандидатского экзамена по философии
 и истории физики.

Наше издательство рекомендует следующие книги:



С. Вайнберг
 Мечты об
 окончательной
 теории:
 физика в поисках
 самых
 фундаментальных
 законов природы



Б. Трин
 Элегантная
 Вселенная.
 Суперструны,
 скрытые
 размерности
 и поиски
 окончательной
 теории

Р. Пенроуз
 Новый ум
 короля.
 О компьютерах,
 мышлении
 и законах
 физики



*Р. Фейнман,
 Р. Лейтон, М. Сэндс*
 Фейнмановские
 лекции по физике.
 Т. 1-9.

Задачи и упражнения
 с ответами и решениями



3032 ID 25649



НАУЧНАЯ И УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА

Тел./факс: 7 (095) 135-42-16
 Тел./факс: 7 (095) 135-42-46



E-mail:
URSS@URSS.ru
 Каталог изданий
 в Интернете:
<http://URSS.ru>

Любые отзывы о настоящем издании, а также обнаруженные опечатки присылайте по адресу URSS@URSS.ru. Ваши замечания и предложения будут учтены и отражены на web-странице этой книги в нашем интернет-магазине <http://URSS.ru>