

001

мм. 476

5-24 ✓
44.21953 мм. 476

В.С. Барашенков

Существуют ли границы науки:

**КОЛИЧЕСТВЕННАЯ
И КАЧЕСТВЕННАЯ НЕИЩЕРПАЕМОСТЬ
МАТЕРИАЛЬНОГО МИРА**



МОСКВА «МЫСЛЬ» 1982

ЖГБ 8

РЕДАКЦИИ
ФИЛОСОФСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Рецензенты:

доктор филос. наук И. А. АКЧУРИН,
доктор филос. наук Б. Я. ПАХОМОВ

Барашенков В. С.

Б24 Существуют ли границы науки: количественная и качественная неисчерпаемость материального мира. — М.: Мысль, 1982. — 208 с. — (Философия и естествознание).

60 к.

Некоторые ученые высказывают мнение об исчерпывающем познании принципиальных, качественно отличных свойств природы и о возможном «конце фундаментальной науки». Автор книги, доктор физ.-мат. наук, стремится показать, что данные современной науки не дают оснований для подобных утверждений. Книга содержит большой фактический материал, подтверждающий точку зрения автора. Популярная форма изложения делает ее доступной широкому кругу читателей — неспециалистов в области физики.

Б 0302020100-154 40-82
004(01)-82

ББК 22.3
53

© Издательство «Мысль». 1982

ВВЕДЕНИЕ

Вопрос о бесконечности свойств материального мира и тесно связанный с ним вопрос о соотношении абсолютной и относительной истины подробно анализировались классиками марксизма, и ответ на них образно сформулирован в виде известного ленинского положения о «неисчерпаемости электрона».

Как отмечал В. И. Ленин, еще «И. Дицген подчеркивал, что «объект науки бесконечен», что неизмеримым, непознаваемым до конца, *неисчерпаемым* является не только бесконечное, но и «самый маленький атом», ибо «природа во всех своих частях без начала и без конца» [3, с. 276]. Такое понимание неисчерпаемости материи означает не только бесконечность числа возможных сочетаний, связей ее отдельных частей, но прежде всего принципиальную неисчерпаемость ее фундаментальных, качественно различающихся между собой свойств и закономерностей. «Мысль человека бесконечно углубляется от явления к сущности, от сущности первого, так сказать, порядка, к сущности второго порядка и т. д. *без конца*», — указывал В. И. Ленин [4, с. 227]. ««Сущность» вещей или «субстанция» *тоже* относительны; они выражают только углубление человеческого познания объектов» [3, с. 277]. Наше неполное, исторически ограниченное знание лишь в процессе бесконечного углубления в сущность материальных объектов, лишь как некоторый асимптотический процесс может приблизиться к пределу абсолютного, полного знания, и этот процесс бесконечен во времени.

Эти важнейшие положения диалектического материализма, развитые и конкретизированные В. И. Лениным, оказали огромное влияние на мировоззрение нескольких поколений ученых и в настоящее время являются одним из руководящих методологических принципов любого научного исследования.

В природе не существует каких-либо абсолютно простых, «предельно элементарных» объектов; все объекты имеют бесконечное множество различных свойств, обладают сложной внутренней структурой. На каждом новом этапе исследования эта структура может быть весьма отличной от той, которая нам была известна ранее. Неисчерпаем не только мир ультрамалого, но и явления на противоположном полюсе — в области ультрабольших космических масштабов. За последние 100 лет границы, доступные экспериментальным исследованиям мега- и микромира, раздвинулись на 15—20 порядков и проходят сейчас на уровне $\Delta x \sim 10^{-16}$ см, $\Delta t \sim 10^{-26}$ сек в области микропроцессов и где-то на уровне 10^{23} км и 10^{10} лет — в области космологических явлений; были обнаружены новые структурные уровни организации материи с неожиданными, поражающими воображение свойствами. Эти открытия радикальным образом изменили представление об окружающем мире, а экспериментальные и теоретические исследования продолжают приносить все новые и новые открытия.

Хотя различные аспекты материалистической точки зрения на проблему неисчерпаемости материи с учетом данных современного естествознания детально рассматривались многими советскими учеными (см., например, работы [17, 41, 44, 47, 61, 76, 86], в которых можно найти более подробную библиографию), однако эта проблема очень сложна, многогранна и рядом своих аспектов связана с наиболее актуальными вопросами развития современной науки. Поэтому исследования в этом направлении не прекращаются. Более того, анализируя тенденции и

трудности прогресса науки, некоторые ученые приходят к выводу о возможности полного, исчерпывающего познания принципиальных, качественно различных свойств природы и соответственно делают вывод о возможном «конце фундаментальной науки».

Если придерживаться таких взглядов, то, после того как будут познаны все законы, дальнейшее развитие науки сведется лишь к применению познанных «базисных законов» к исследованию более сложных материальных систем, подобно тому как сегодня законы квантовой теории используются для изучения свойств твердого тела, химических превращений и биологических структур. Неисчерпаемость материи при этом была бы односторонней — лишь в направлении усложняющихся макроскопических структур.

В книге Р. Фейнмана [98, с. 190], например, утверждается, что в будущем «мы узнаем все законы, т. е. мы будем знать достаточно законов для того, чтобы делать все необходимые выводы, а они всегда будут согласоваться с экспериментом, на чем наше движение вперед закончится». Еще более определенно о «конце науки» высказался президент Американской ассоциации содействия развитию науки А. Глэсс, который считает, что «великие концепции, фундаментальные механизмы и основные законы теперь известны... Остается еще уточнить многочисленные детали, но бескрайних горизонтов больше не существует» [цит. по: 102].

Подобные идеи проникли и в научно-популярную литературу. Так, например, в книге В. Н. Комарова [50, с. 34] читатель логически подводится к выводу о возможности исчерпать все фундаментальные закономерности природы, хотя формально автор и оставляет вопрос открытым. По его мнению, «спорить на подобные темы можно без конца. Только будущее покажет, кто в том или ином случае прав и в какой степени». В книге С. Д. Захарова, И. И. Тугова и Б. Е. Явелева, так же

как одна из возможных альтернатив, излагается мнение о том, что с объединением в одной теории четырех известных сейчас типов взаимодействий «физика как фундаментальная наука закончится, как закончилась когда-то эпоха великих географических открытий» [45, с. 14]. Подобные примеры можно умножить.

Нет сомнений в том, что число проблем, порождаемых практикой, может неограниченно возрастать. Такое чисто количественное понимание бесконечности развития науки сейчас никто не отрицает. Но это отражает лишь количественную неисчерпаемость мира. Значительно более важным с методологической точки зрения является качественная неисчерпаемость природы. Именно этому философскому положению и противоречат высказывания цитированных выше авторов. Они считают, что законы природы могут быть познаны раз и навсегда, после чего человечеству останется лишь использовать их в своей практике и не прикладывать усилий для открытия новых закономерностей. Чисто количественное увеличение нашего опыта уже не будет сопровождаться его качественными обобщениями, количественный и качественный аспекты развития науки окажутся оторванными друг от друга*.

На чем основаны подобные выводы? Может быть, новые данные естествознания действительно позволяют пересмотреть одно из основных положений диалектического материализма — положение о количественной и качественной неисчерпаемости окружающего нас мира и предсказать конец «фундаментальной науки», в частности, физическим исследованиям, связанным с проникновением в наиболее глубинные области микро- и мегамира? Анализ этих вопросов и является основной целью

* Эту «оторванность» нельзя устранить ссылкой на то, что «правильно сформулированный закон природы отражает и ее безграничность в качественном смысле» [53, с. 113]. Если число качественно различных (фундаментальных) законов природы конечно, то подобная ссылка противоречит логике.

настоящей книги. На основе экспериментальных и теоретических данных, предоставляемых наукой, мы попытаемся также проследить, какое значение для современной физики имеет ленинская идея о «неисчерпаемости электрона», какие новые философские проблемы ставит ее развитие и детализация.

Следует заметить, что противоположная идея, признающая существование в природе абсолютных, изначальных законов, определяющих все многообразие бытия, все его оттенки и нюансы, имеет многовековую историю. Уже в философии великого мыслителя древности Аристотеля она сформулирована в виде утверждения об абсолютности и непогрешимости «истинно научного знания». Эта идея буквально пропитывает всю средневековую схоластику, ее разделял и Кант, выдвигая «вечные принципы чистого разума». На рубеже нашего столетия непонимание соотношения между абсолютной и относительной истиной явилось одной из причин возникновения физического идеализма и глубокого методологического кризиса физики. Убежденность в существовании неких наипростейших аксиом, с помощью которых можно полностью определить метрическую и топологическую структуру мира, в течение долгого времени была широко распространена в математике. «Финитным идеям», признающим конечность фундаментальных свойств мира и «естественную ограниченность» процесса познания, противостоит другая, в такой же мере односторонняя и ограниченная концепция, согласно которой невозможно познать все свойства и закономерности природы.

Как известно, диалектически противоречивый процесс познания то замедляется, сталкиваясь с трудностями, которые возникают при исследовании новых «пластов» явлений, и тогда становится очевидным ограниченный характер ранее известных представлений, то стремительно ускоряется, когда создается новая фундаментальная теория и на ее основе формируется на первый взгляд

всеохватывающее новое видение мира. Поэтому иногда делаются пессимистические выводы о различных, якобы принципиально неустранимых препятствиях на пути познания истинной сущности окружающих явлений, об иллюзорности и поверхностности знаний, или, наоборот, на первый план поспешно выдвигаются оптимистические заявления о том, что наука вот-вот закончит свое развитие, полностью познав окружающий мир. И в том и в другом случае речь идет о границах знания, которые, согласно одним утверждениям, вообще невозможно перейти, а согласно другим — за ними уже просто нечего познавать. Марксистская философия утверждает, что в мире нет и не может быть каких-либо принципиально недоступных познанию вещей и свойств, хотя на каждом данном этапе развития науки и практики невозможно получить абсолютно полного, исчерпывающего знания.

Следует иметь в виду, что проблема неисчерпаемости материального мира имеет две стороны: внутреннюю, онтологическую и гносеологическую, касающуюся имманентного свойства материи обладать бесконечностью качеств и принципиальной способности субъекта к их познанию, и, так сказать, внешнюю, социально-экономическую, связанную с образованием «ножниц», если темп роста материальных возможностей общества будет отставать от тех затрат, которые необходимы, для того чтобы продолжать исследования качественно новых законов природы. По мнению некоторых ученых, такие «ножницы» неизбежно возникают на определенной ступени развития цивилизации, и этот факт якобы делает бессмысленной саму постановку вопроса о качественной неисчерпаемости свойств окружающего мира: открытие качественно новых закономерностей с некоторых пор станет просто непосильной для общества задачей. Далее мы кратко рассмотрим и этот аспект проблемы.

Глава I

ПРОБЛЕМА НЕИСЧЕРПАЕМОСТИ МАТЕРИИ

Утверждение о неисчерпаемости природы, бесконечном многообразии ее свойств и качеств — одно из основополагающих положений диалектического материализма. Однако по сравнению с такими абстрактными философскими положениями, как соотношение материального и идеального, абсолютность и диалектическая противоречивость движения, тезис о неисчерпаемости материи может показаться более конкретным, имеющим в основном онтологическую природу, и близким к естественнонаучным гипотезам. Именно ошибочное представление о якобы «более низком» статусе философского положения о неисчерпаемости материального мира по существу лежит в основе попыток тем или иным образом сузить область его действия. Обсуждение статуса проблемы неисчерпаемости, ее эмпирического основания будет одной из главных задач настоящей главы.

Отказ от принципа качественной неисчерпаемости материи и признание ограниченным числа основных, фундаментальных законов ее движения приводят к выводу о том, что все многообразие действующих в природе закономерностей можно «свернуть» в некоторое число «законченных теорий», полностью и абсолютно точно выражающих фундаментальные законы природы. Эти теории в свою очередь можно объединить некоей всеобъемлющей «единой теорией». При этом иногда подчеркивается, что создание такой теории является неизбежным следствием материального единства мира. Мы

подробно проанализируем, в какой степени эти выводы соответствуют тенденциям развития современной науки и какой смысл следует придавать часто используемым в физике понятиям: «законченная» и «единая» теория. Особое внимание будет уделено общей теории относительности и квантовой электродинамике — наиболее совершенным по своей структуре фундаментальным физическим теориям.

В основе любого раздела знания лежит некоторое число исходных, теоретически невыводимых понятий и утверждений. В процессе развития науки их число может возрастать или уменьшаться, может меняться соотношение отдельных групп понятий, утверждений и их структура, но в целом по мере совершенствования данного раздела знания объем теоретически невыводимого материала в нем, как правило, сокращается до некоторого минимума. Появляется возможность аксиоматизации знания.

Каковы роль и значение аксиоматических систем в современной науке? Не может ли получиться так, что при изучении все более сложных структур произойдет постепенное свертывание постулативного базиса и возникнет единая, полностью замкнутая теория, все понятия и положения которой целиком определяются внутри ее самой? Эти вопросы также являются предметом обсуждения в данной главе.

1. ОБ ЭМПИРИЧЕСКОМ И ТЕОРЕТИЧЕСКОМ СТАТУСЕ ПРОБЛЕМЫ НЕИСЧЕРПАЕМОСТИ

Как известно, философия изучает наиболее общие закономерности мира, что обуславливает высокую степень общности ее основных положений, их универсальность по отношению к частным наукам. Если последние исследуют отдельные специфические явления и свойства мира, то философия стремится раскрыть и исследовать наибо-

лее общие закономерности бытия, мышления и процесса познания.

Нередко высказывается мнение о том, что философия — это весьма расплывчатая и неточная наука с большим числом исходных положений, которые к тому же могут быть сформулированы самым различным образом; что в ней отсутствует строгость утверждений, поэтому она представляет собой как бы антипод математике и другим точным наукам. Считая нестрогими и несколько расплывчатыми исходные философские положения, ссылаются на то, что в отличие от лаконичных формулировок математических аксиом философские утверждения имеют общий характер, отличаются абстрактностью, не формулируются как единая система аксиом.

Однако философские положения в определенном смысле являются даже более «жесткими», чем базисные положения математики, физики и вообще любой частной науки. Как известно, понятийный аппарат этих наук создается конструктивистски, т. е. на основе некоторого конечного числа свойств и признаков, или путем подведения под ранее выработанные более общие родовые понятия. Здесь много возможностей для различных обобщений. Например, в последние десятилетия в физике развился даже особый, так называемый аксиоматический метод исследования, основанный на изучении влияния определенных изменений постулативного базиса теории (см. § 6).

В философии (мы имеем в виду учение диалектического материализма) существенно иная ситуация. Предельно широкие исходные категории этой науки можно определить, лишь сопоставляя их с противоположными категориями, или с помощью других, однопорядковых — путем раскрытия их взаимосвязи. Вносить какие-либо изменения и усовершенствования в формируемый таким образом понятийный базис чрезвычайно трудно. Во мно-

гих случаях развитие философских понятий происходит в процессе дальнейшей конкретизации и выяснения более глубокого смысла уже сформулированных положений, в ходе применения их к новым, «вырастающим» из частных наук категориям.

Конечно, следует иметь в виду, что в силу исключительной общности философские положения сами по себе не могут служить основой для предвидения конкретных результатов частных наук. Сферой применения этих положений является анализ и интерпретация результатов частных наук, методологический и мировоззренческий аспекты научного знания.

Положения диалектического материализма, в том числе и вывод о неисчерпаемости материального мира, не априорны, а являются теоретическим обобщением практики, в том числе уже известного частнонаучного материала, отражающего определенный, исторически ограниченный этап развития наших знаний. По мере развития конкретных наук и практики философские положения наполняются новым содержанием, уточняются и совершенствуются. Поэтому проблема эмпирического обоснования философских положений, в частности тезиса о количественной и качественной неисчерпаемости свойств материи, не может вызывать возражений и всегда будет оставаться важной проблемой науки. Это обстоятельство отмечал еще В. И. Ленин: «...если *все* развивается, то относится ли сие к самым общим *понятиям* и *категориям* мышления? Если нет, значит, мышление не связано с бытием. Если да, значит, есть диалектика понятий и диалектика познания, имеющая *объективное* значение» [4, с. 229].

Эту мысль наглядно подтверждает процесс углубления и обобщения философского принципа причинности в ходе развития естествознания. Принцип причинности в конце XVII в. был сформулирован в виде лапласовского детерминизма, претендовавшего на строго дина-

мическое объяснение всех явлений во Вселенной и адекватно соответствовавшего классической физике Ньютона. Этот принцип в начале XX в. получил релятивистское толкование в рамках специальной теории относительности. Еще через четверть века он был дополнен с учетом представлений квантовой механики и наконец уже в 40—50-х годах приобрел наиболее совершенную с точки зрения известных нам физических законов формулировку в релятивистской квантовой теории поля. В литературе уже рассматриваются более общие виды причинности, связанные со сверхсветовыми скоростями сигналов в области ультрамалых пространственно-временных интервалов, когда хронологический порядок причины и следствия приобретает относительный смысл, обсуждается возможность определить причинность независимо от понятия времени и т. д.

Вполне возможно, что современное понимание принципа неисчерпаемости материи также является весьма приближенным отражением реальности и будет далее существенно развиваться и уточняться. Однако для каждого такого уточнения требуются достаточные научные основания — не менее веские, чем те, которые послужили основой этому принципу. В противном случае суждения не могут считаться убедительными и будут иметь умозрительный, натурфилософский характер.

В отличие от математических теорем философские положения нельзя формально доказать, их можно только обосновать, опираясь на весь опыт познания и практики. Остающаяся при этом неопределенность имеет совершенно иной характер, чем та, которая присуща умозрительному рассмотрению различных, чисто логических альтернатив. Так, например, Н. И. Степанов пишет: «...особенность развития физического знания состоит в том, что смена физических теорий связана, как правило, с увеличением «радиуса их действия», с увеличением степени их общности. Будет ли этот ряд все более ши-

роких теорий продолжаться до бесконечности или закончится некоей единой теорией? ...Такого рода абстрактную возможность нельзя отвергнуть окончательно ни ссылкой на прежние исторические неудачи и современные трудности, ни указанием на неисчерпаемость познания...» [93, с. 80]*. Последнее, однако, неверно.

Ниже мы подробно рассмотрим смысл так называемых законченных и единых теорий, создаваемых наукой, сейчас же еще раз подчеркнем, что совершенно неправомерно ставить на одну доску абстрактно-гипотетические финитные концепции и уже имеющий под собой огромный научный и практический базис вывод о количественной и качественной бесконечности мира. Основания, на которые опираются сторонники этих двух противоположных подходов к решению проблемы бесконечности материи, принципиально различны. Соотношение между естественнонаучным базисом и получаемыми на его основе философскими обобщениями, а в более общем смысле — вопрос об относительности абсолютного и конкретного в познании — это один из основных вопросов, разделяющих диалектический и метафизический методы в научном исследовании.

Что касается ссылки на неисчерпаемость познания, то одно из двух: можно или признать такую неисчерпаемость, отражающую в нашем сознании количественную и качественную неисчерпаемость материи, и тогда не может быть «единой, всеисчерпывающей теории», или, наоборот, допустить «абстрактную возможность» такой теории, и тогда наука сведется лишь к количественному анализу и применению некоторого конечного числа «окончательных законов». Нельзя признавать неисчерпаемость материального мира и в то же время считать, что в основе ее лежит всего лишь несколько основных закономерностей.

Безусловно, неисчерпаемо уже само понятие неис-

черпаемости, многообразие ее конкретных проявлений, которые в будущем могут оказаться совершенно непохожими на наши современные представления о неисчерпаемом (как и о бесконечном вообще). Эту мысль очень хорошо выразил Г. И. Наан, отметив, что философия оперирует не с реальной бесконечностью и даже не с абстракцией бесконечности, а с абстракцией абстракции бесконечности [73, с. 75]. В следующей главе мы познакомимся с примерами нетрадиционного понимания «неисчерпаемости материи вглубь», которые возникли в результате современных физических исследований.

Как и другие философские положения, тезис о неисчерпаемости материи постоянно развивается, однако нет никаких оснований предполагать, что это приведет к элиминации его основных категорийных ингредиентов: категорий качества и бесконечности.

По мнению некоторых авторов [93, с. 69—70], современная физика подтверждает принцип неисчерпаемости материи не больше, чем физика Аристотеля или Ньютона, поскольку на эмпирическом уровне физик всегда фиксирует лишь ограниченное число свойств и взаимосвязей, а на теоретическом уровне оперирует конечным числом понятий и законов. С такой точкой зрения нельзя согласиться. Хотя философские положения нельзя обосновать лишь данными какой-либо частной науки, но число фактов и соображений, подтверждающих (или опровергающих) то или иное положение, и объем практики возрастают по мере развития науки. Уверенность в истинности философских обобщений основывается на моментах абсолютного знания, которые в возрастающем темпе аккумулируются развивающейся наукой, и современная физика в этом отношении просто несопоставима с ньютоновской, а тем более с античной физикой.

Наряду с основными, базисными положениями диалектический материализм включает в себя также ряд утверждений, которые связаны с определенной гипоте-

* См. также обзор Н. И. Степанова [92, с. 169].

тической конкретизацией его основополагающих тезисов и поэтому имеют характер философских гипотез. Эти гипотезы, как и гипотезы конкретных наук, могут оказаться лишь частично правильными, а иногда и вообще неверными. Одновременно могут существовать даже исключаящие друг друга гипотезы. Примером философской гипотезы, которая была подтверждена последующим развитием науки, является предположение Ф. Энгельса о неизбежной смене механистической, лапласовской, причинности более общей формой детерминизма, учитывающей диалектику развития [1].

Важно подчеркнуть, что принцип количественной и качественной неисчерпаемости материи — это не гипотеза. Этот принцип относится к фундаментальным философским положениям и доказывается многовековым развитием практики и науки. Предположение о том, что в природе существует первично-исходное, «праобъекты» и связывающие их «первозаконны», эквивалентно допущению некоей нематериальной, креативной сущности, которая определяет, почему первооснова мира именно такова, как она есть, а не иная, и которая в конечном счете ответственна за структуру и свойства окружающего мира. В этом смысле статус принципа неисчерпаемости материи не ниже, чем у других основополагающих положений диалектико-материалистической философии.

2. БЕСКОНЕЧНОСТЬ МАТЕРИИ И «ЗАКОНЧЕННЫЕ ТЕОРИИ»

Вывод о возможности полной и окончательной формулировки всех основных законов материального мира аргументируется тем, что число различных типов взаимодействий в природе, по-видимому, конечно, как и число «фундаментальных постоянных», характеризующих каждый из этих типов взаимодействия, поэтому и время, необходимое для того, чтобы найти соотношения, опре-

деляющие эти постоянные, также должно быть конечным [52].

Как показывает история развития науки, любая естественнонаучная теория имеет область своей применимости, внутри которой она при данном уровне техники измерений может исчерпывающим образом описывать эксперимент, и в этом смысле ее можно назвать «достаточно полной» и «завершенной». Чем шире круг охватываемых данной теорией явлений, чем меньше число постулатов заложено в ее основании, тем полнее будет «завершенность» теории. Примером такой «законченной теории» может служить термодинамика, механика Ньютона вместе с электродинамикой Максвелла, квантовая механика, теория гравитационных полей Эйнштейна и т. д. С точки зрения математики законченной и в высшей степени совершенной теорией является евклидова геометрия. Возможность сформулировать такие богатые по содержанию и в то же время достаточно замкнутые по своим исходным положениям теории отражает факт относительной устойчивости движения материи в некоторых «узловых точках», соответствующих его качественно различным формам.

Такие «узловые точки» описываются с помощью идеализированных теоретических объектов, которые из огромного количества признаков и связей выделяют лишь конечное число наиболее существенных. Любой теоретический объект по своему содержанию исчерпаем как в онтологическом, так и в гносеологическом плане. Именно благодаря редукции бесконечности внешнего мира к конечным его теоретическим отображениям, обусловленным ограниченными возможностями познающего субъекта, и создаются условия для изучения окружающей нас реальности.

Чем точнее выделены основные, определяющие характеристики изучаемых явлений, тем более законченный и полный вид приобретает теория. Каждой такой

теории, как правило, предшествует ряд сменяющих друг друга моделей. Однако возможность построения «законченных теорий», весьма полно описывающих различные формы движения материи, вовсе не означает, что с помощью некоторого числа таких теорий можно полностью «перекрыть весь мир», исчерпать все качественное многообразие законов природы. Ведь каждая такая теория не учитывает (или, как говорят физики, «зануляет») бесконечное число параметров, второстепенных в данном приближении, но становящихся очень важными при дальнейшем углублении в суть рассматриваемых явлений. Поэтому все законы, какими бы общими и универсальными они ни казались, всегда имеют относительный и ограниченный характер. Соответственно ограниченной оказывается и любая естественнонаучная теория. Каждая такая теория — это в принципе открытая система. Даже в логическом плане, как показал в своей знаменитой теореме австрийский математик и логик К. Гёдель, теорию принципиально нельзя сформулировать исчерпывающим образом: в любой достаточно содержательной теории существуют вопросы, на которые в рамках данной теории нельзя дать ответ — для этого необходимо привлечь более общую теорию.

В частности, именно потому, что научная истина имеет определенные эмпирические основания, является результатом того или иного эксперимента, который по своей сущности имеет ограниченный, приближенный характер, конкретные физические теории не могут объяснить процессы, протекающие в областях и сколь угодно малых, и сколь угодно больших пространственно-временных интервалов. В любой теории описание этих областей имеет характер математической экстраполяции, в то время как их экспериментальное изучение является неисчерпаемым источником новых знаний. Поэтому современные теории строятся таким образом, чтобы оставался незначительным вклад от недоступных пока еще

нашему экспериментальному исследованию областей, где физические величины приобретают предельно малые (~ 0) или очень большие ($\rightarrow \infty$) значения*.

Гипотеза «законченных теорий» и «конца физической науки» допускает лишь количественную неисчерпаемость природы — неисчерпаемость «при наличии постоянных основных принципов» [53, с. 113]. Это напоминает бесконечное число решений одного и того же уравнения, все различие которых состоит в несколько ином выборе граничных и начальных условий. Такова неисчерпаемость в рамках данной гипотезы, в которой человеческое познание сводится к чисто практическим приложениям нескольких хорошо известных принципов.

Неисчерпаемость природы в этом случае похожа на «дурную бесконечность» Гегеля. Фактически это означает признание ограниченным одного из основных положений диалектики — о развитии путем перехода количества в качество. «Если бы человечество пришло когда-либо к тому, чтобы оперировать одними только вечными истинами — результатами мышления, имеющими суверенное значение... то оно дошло бы до той точ-

* В современной теории поля частицы могут испускать и поглощать кванты со сколь угодно большой энергией, соответствующие физическим процессам в пространственно-временных областях $\Delta x, \Delta t \rightarrow 0$. Благодаря «вкладу» таких квантов теоретические значения многих наблюдаемых физических величин, таких, как массы частиц, их заряды, магнитные моменты и т. д., оказываются бесконечно большими, расходящимися. Будущая теория, по-видимому, будет содержать какой-то автоматический запрет рассматривать процессы в любых предельно малых интервалах $\Delta x, \Delta t \sim 0$. В современной же теории пока имеется всего лишь специальный рецепт, так называемая процедура перенормировок, позволяющая исключить из рассмотрения экспериментально не обоснованный экстраполяционный элемент, связанный с переходом $\Delta x, \Delta t \rightarrow 0$. Иногда эту процедуру рассматривают как серьезный методический недостаток теории, однако в действительности недостатком является не сама процедура перенормировок, а невозможность вычислить в современной теории основные характеристики элементарных частиц.

ки, где бесконечность интеллектуального мира оказалась бы реально и потенциально исчерпанной и тем самым совершилось бы пресловутое чудо сосчитанной бесчисленности», — писал Ф. Энгельс еще более ста лет назад [1, с. 88]. Эти слова и по сей день не утратили своей актуальности.

В уже упоминавшейся работе Н. И. Степанова [93] сделана попытка согласовать «финитную гипотезу» с законами диалектики путем утверждения, что в рамках этой гипотезы может быть и «другой возможный «канал» неисчерпаемости... исторически осуществляемый непрерывный переход от одной замкнутой теории к другой» [93, с. 80]. Однако финитная точка зрения как раз в том-то и состоит, что принципиально отрицается такой непрерывный переход! Никакого другого «канала» неисчерпаемости, кроме чисто количественного аспекта, финитная гипотеза не допускает по самому своему характеру.

Если обратиться к истории физики, то нельзя не заметить, что на законченность и универсальность претендовала каждая новая фундаментальная физическая теория, когда не были еще исследованы ее возможности. а ее создатели и сторонники были окрылены успехами [61]. Так было с классической механикой, согласно которой все движение в природе можно описать на основе трех уравнений Ньютона; даже электромагнитные процессы сводили к механическому движению — взаимодействию отдельных, цепляющихся друг за друга «кусочков» всепроникающей среды — эфира. В последующем то же повторилось с электродинамикой Максвелла, сторонники которой утверждали, что силы, действующие между любыми телами, полностью описываются системой уравнений электромагнитного поля. Именно в это время появилось известное высказывание лорда Кельвина о том, что грандиозное здание физики в основном уже построено и на долю будущих ученых остаются

лишь мелкие отделочные работы *. После создания квантовой механики было широко распространено убеждение в том, что наконец-то создана теория, с помощью которой можно исчерпывающе точно описать свойства всех микроявлений. Мнения об универсальности такого описания можно было слышать еще совсем недавно. Однако развитие знания каждый раз показывало, что единственной основой для такого рода претензии был узкий научный горизонт соответствующей теории.

Вечно развивающаяся и постоянно самообновляющаяся природа бесконечна как в многообразии своих форм, так и в сложности своей структуры. «...Для нас раз навсегда утрачивает всякий смысл требование окончательных решений и вечных истин, — отмечал Ф. Энгельс, — мы никогда не забываем, что все приобретаемые нами знания по необходимости ограничены и обусловлены теми обстоятельствами, при которых мы их приобретаем» [2, с. 302]. Поэтому говорить о конечном числе фундаментальных постоянных и вообще о конечном числе каких-либо фундаментальных характеристик можно лишь в весьма условном смысле, имея в виду какую-либо конкретную теорию **.

* Интересно, что сам Дж. Максвелл, воспитанный на идеях ньютоновой физики, считал, что в основе электромагнетизма лежат механические явления. Идея универсальности электромагнитного поля получила признание уже после его смерти, главным образом под влиянием созданной Г. Лоренцом теории электронов, с помощью которой часть ученых пытались даже атомы и молекулы рассматривать лишь как «сгустки» действующих в пространстве электромагнитных сил, которые лишились при этом материальной основы.

** «...Как понимать «самообновление» в мире элементарных констант?» — спрашивает А. С. Компанец [53, с. 114]. Константы, конечно, не «самообновляются», но мир явлений, свойства которого они отражают, развивается и самообновляется. В частности, одним из характерных свойств элементарных частиц является их взаимопревращаемость. «Кроме того, — продолжает далее А. С. Компанец, — обновление объектов физической науки не обязательно всегда будет требовать обновления физических законов. Ньютоновская ме-

Открытие новых, ранее неизвестных свойств и качеств материи является неиссякаемым, вечным источником развития науки, при котором наше по необходимости ограниченное восприятие мира становится все более конкретным и полным. «Человек не может охватить» — «отразить» — «отобразить» природы *всей*, полностью, ее «непосредственной цельности», — подчеркивал В. И. Ленин, — он может лишь *вечно* приближаться к этому, создавая абстракции, понятия, законы, научную картину мира и т. д. и т. п.» [4, с. 164]. Эта важнейшая черта научного знания подчеркивалась многими советскими учеными [7, 41, 44, 47, 61, 72, 76, 86, 87, 107].

Исчерпывающе полного знания нельзя достичь даже при бесконечной продолжительности жизни человечества*. Утверждения о том, что может наступить время, когда будут познаны все законы природы, имеют умозрительный характер. В их основе лежит абсолютизация тех или иных конкретных свойств бесконечно разнообразной природы, приближенные теории при этом рассматриваются как окончательные.

Мнения о том, что «фундаментальная наука выходит на свой естественный предел», особенно часто высказывались в 1960—1970 гг. и в значительной степени отражали положение, сложившееся в это время в физике, когда выяснилось, что многие характеристики элемен-

танов тому пример». С этим никак нельзя согласиться: качественное обновление объектов всегда связано с качественно новыми закономерностями. Именно механика Ньютона в этом отношении является показательным примером.

* Идея неисчерпаемости материальных объектов приобретает своеобразную интерпретацию в теории информации, где в соответствии с «принципом негэнтропии информации» для получения определенного количества информации о свойствах какого-либо объекта необходимо затратить соответствующее количество энергии — тем больше, чем большую точность (больше количество информации) мы хотим получить. Абсолютное знание (бесконечная информация) потребовало бы бесконечного количества энергии [23, 24].

тарных процессов становятся весьма плавными и качественно почти не изменяются при переходе от ускорителя на 70 ГэВ в Серпухове к 400-ГэВному ускорителю в Батавии и 1800-ГэВному ускорителю на встречных пучках в Женеве. Именно тогда возникла дискуссия о том, как следует финансировать и развивать науку: продолжать ли строить дорогостоящие ускорители и вносить уточнения в «безнадежно сглаживающиеся» физические кривые или же целиком сосредоточиться на тех областях физики твердого тела, биофизики и других «нефундаментальных» разделах науки, которые в ближайшее время уже могут дать практические результаты [65, 83, 127]. Последующее развитие физики показало, что сам факт относительного сглаживания физических характеристик порождает массу новых фундаментальных вопросов, а в области, казалось бы, уже изученных энергий были сделаны открытия, радикальным образом изменившие представления о структуре микромира, о чем мы будем еще говорить.

3. О «ЕДИНЫХ ТЕОРИЯХ» И ПОСТРОЕНИИ «ТЕОРИИ ВСЕЛЕННОЙ»

Финитные концепции предполагают создание некоей «единой теории», объединяющей в себе все «законченные теории» отдельных классов явлений. Такая «теория с большой буквы» должна быть абсолютно замкнутой и самосогласованной, а все содержащиеся в ней численные величины должны автоматически выводиться из соотношений этой теории, все встречающиеся в ней понятия и образы должны быть исчерпывающе определены. Никаких аксиом, исходных постулатов или неопределяемых внутри самой теории дефиниций в «единой теории» не должно быть, иначе возникнет проблема их объяснения (или придется допустить существование некоего порождающего их начала). Невозможность создания та-

кой абсолютной конструкции как раз и означает принципиальную открытость любой научной теории.

Сторонники создания «единой теории» часто ссылаются на то, что, с тех пор как существует сама наука, она всегда в качестве идеала и высшей цели ставила перед собой задачу объединить пестрое многообразие физических законов в единую систему, а если возможно, то в одну-единственную формулу [94, с. 23]. Имея своей предтечей мифологические картины, где единство объяснения достигалось универсальной ссылкой на богов, на заре науки идея единого описания всего существующего проявилась в первичных стихиях греческой натурфилософии, в поисках пифагорейцами истинного единства мира в универсальных закономерностях симметрий. Эта идея красной нитью проходит через всю науку эпохи Возрождения и получает свое первое формализованное выражение в количественных соотношениях механистической, а затем электромагнитной картины мира. По мере развития науки объединяющие ее принципы приобретают все более конкретное выражение, а формализованные системы количественного объяснения мира распространяются на все большее число разнородных явлений и тем самым, казалось бы, все более приближаются к идеалу «единой теории».

В XX в. попыткам создать единую, всеобъемлющую физическую теорию отдали дань многие выдающиеся ученые, и в частности А. Эйнштейн. В созданной им общей теории относительности гравитационное поле рассматривалось как кривизна четырехмерного пространства-времени. Таким же образом, как и некоторые чисто геометрические свойства пространства-времени, А. Эйнштейн пытался трактовать и другие поля. В частности, поскольку все поля обладают энергией и, следовательно, искривляют пространство-время, то можно было надеяться получить их однозначное определение через «отпечатки» на пространственно-временной метрике мира.

Однако почти сорокалетние усилия Эйнштейна не привели к успеху. Ни одно из полей, кроме гравитационного, не удалось свести к геометрическим свойствам пространства-времени. «Следов», оставляемых полями на пространственно-временной метрике, оказалось недостаточно для однозначного их описания. Безуспешными были и попытки других физиков заменить поля геометрическими образами. (В послевоенные годы такой подход интенсивно изучался Дж. Уилером и его сотрудниками и получил название геометродинамики; о физических и методологических трудностях этого направления мы еще будем говорить в § 12.)

Иную идею для построения «единой теории» использовал В. Гейзенберг. Он исходил из предположения о том, что существует «мировое уравнение движения» для некоей первичной субстанции, «праматерии», которая, взаимодействуя сама с собой (уравнение ее движения предполагалось нелинейным), порождает устойчивый спектр возбуждений, а эти возбуждения воспринимаются нами как элементарные частицы. К сожалению, и на этом пути не удалось построить «единой теории»: трудности оказались настолько значительными, что работы по существу не вышли из стадии начальных расчетов.

Однако дело не в том, что конкретные попытки построить «единую теорию» частиц и полей были неудачными. Эти неудачи вовсе не означают, что не может быть создана теория, объединяющая все известные нам поля и частицы. Более того, интенсивно развиваемый в настоящее время подход на основе идеи о существовании «прачастиц» — кварков, по-видимому, действительно позволяет представить все известные нам типы взаимодействий как специфические проявления некоего единого, универсального взаимодействия (см. § 12) и объединить электродинамику с теорией слабых, сильных, а в некоторых вариантах и с теорией гравитационных взаимо-

действий. Важно то, что эти «единые теории» представляют собой не конец науки, а всего лишь узловую точку, определенный этап ее развития. Все они основаны на вполне конкретных предположениях и допускают тем самым возможность своего дальнейшего развития и обобщения.

Это относится не только к физическим теориям, но и к более общим математическим построениям. Попытки создать единое непротиворечивое обоснование математики средствами ее формализма оказались неудачными, и, как отмечают в книге по основам математики А. Френкель и И. Бар-Хиллел, вовсе не из-за недостатка изобретательности сторонников этой идеи, а из-за принципиальной невыполнимости такой задачи [100, с. 322].

Особенно осторожным надо быть, когда речь идет о создании и осмыслении картины строения Вселенной в целом. Уже само понятие «Вселенная в целом» требует уточнения. Если под этим понимать «все существующее», то возникает синоним философской категории материи, и никакая теория не может претендовать на полное описание понимаемой таким образом Вселенной*. Термины «Вселенная в целом», «весь Мир» и т. п. можно использовать для обозначения некоторого гипотетического структурного уровня с нечетко определенными границами, «более крупного» (следующего) по сравнению с Метагалактикой. Для описания такого уровня в принципе может быть создана теория, которую

* Это обстоятельство подчеркивалось многими учеными. Так, В. А. Фок отмечал, что любая теория бесконечного мира (в том числе теория расширяющейся вселенной Фридмана и другие космологические построения, следующие из общей теории относительности) касается описания очень больших, но конечных областей окружающего пространства [99, с. 10, 495]. Вне этих областей теория имеет смысл математической экстраполяции. Аналогичная точка зрения высказывается в работах Г. И. Наана [73] и Э. М. Чудинова [107].

в указанном выше ограниченном смысле можно назвать «законченной» и «единой». С течением времени открытие новых фактов неизбежно потребует выхода за рамки этой теории. Только в таком условном смысле и допустимо говорить о строении Вселенной как целого.

Иногда определение «Вселенная в целом» основывается на понятии пространственной неограниченности, полагая, что это понятие объединяет все существующее в природе, поскольку все существует в пространстве и во времени, и определенный таким образом объект является единственным. Однако современное понятие пространственной неограниченности и даже само понятие пространства в ультрабольших масштабах в будущем могут претерпеть существенные изменения.

Всеохватывающая неограниченность, когда предполагается, что можно достичь любых объектов во Вселенной путем движения по пространственному многообразию, — это только одна из возможных моделей структуры мира. Уже в настоящее время существуют теоретические конструкции, в которых Вселенная предстает как совокупность неограниченных и в то же время не соприкасающихся между собой, пространственно замкнутых миров, а реальность может оказаться еще «дикийнее», чем эти модели.

Подобно тому как человек всегда стремился познать тайны окружающего мира, найти его первоэлементы, он всегда старался построить систему мира как целого, осознать свое место в нем. Пожалуй, ни одна цивилизация не могла бы существовать, не обладая хотя бы приближенной картиной мироздания. На каждом этапе своего развития наука создает физическую картину мира — определенное представление о его структуре и сущности происходящих в нем явлений. Дополненная представлениями о свойствах химических и биологических объектов, эта картина становится естественнонаучной картиной мира — наиболее общим и целостным

отражением природы в человеческом сознании. Основанная на фундаментальных результатах научного познания, естественнонаучная картина мира воплощает в себе «общественное научное мнение» и во многих аспектах является интуитивной экстраполяцией известных теорий далеко за рамки доступных экспериментальных данных. Такая экстраполяция весьма неоднозначна. Она во многом зависит от конкретных условий жизни общества, на нее влияют различные идеологические и социальные факторы. Особенно важную роль при этом играют методологические принципы.

Почти сто лет назад Ф. Энгельс писал: «Ясно, что мир представляет собой единую систему, т. е. связанное целое, но познание этой системы предполагает познание *всей* природы и истории, чего люди *никогда* не достигают. Поэтому тот, кто строит системы, вынужден заполнять бесчисленное множество пробелов *собственными измышлениями*» [1, с. 630]. Энгельс подчеркивал, что «каждое мысленное отображение мировой системы остается ограниченным, объективно — историческими условиями, субъективно — физическими и духовными особенностями его автора» [1, с. 36]. Поэтому нельзя согласиться с утверждениями о том, что в обозримом будущем проблема строения мира как целого будет полностью решена. Это типичный пример натурфилософского подхода с характерным для него стремлением к установлению «всеобщих» и «абсолютных» законов, когда за основу берется не практика, а некоторые предвзятые точки зрения, которые по каким-либо причинам импонируют тому или иному автору. Все, что не укладывается в придуманную схему (будь то кибернетика или теория гравитонов [50]), попросту отбрасывается. При таком подходе законы, абстрагированные из реального мира, на известной ступени развития отрываются от него, противопоставляются ему как нечто самостоятельное и абсолютное.

Конечно, это вовсе не означает, что наука не должна выдвигать каких-либо гипотез и концепций о картине мира как целого. Содержание науки не может сводиться к совокупности лишь экспериментальных фактов, оно по необходимости должно включать в себя также гипотетический, предположительный элемент, который, не будучи еще проверен экспериментом, представляет собой веру, догадки и надежды исследователей и в силу этого является одной из важнейших движущих сил науки. Важно лишь, чтобы этот предположительный элемент не абсолютизировался и был (хотя бы в принципе) доступен экспериментальной проверке.

Примером такой гипотезы о «глобальном» строении Вселенной является предложенная М. А. Марковым модель Вселенной как последовательности вложенных один в другой миров, каждый из которых сам по себе — это огромный, практически бесконечный, макроскопический мир и в то же время микроскопический объект в другом мире (см. § 14). Проблемы Вселенной и проблемы элементарных частиц здесь оказываются связанными в один узел и относятся к различным аспектам одного и того же объекта [66]. Полученная с помощью экстраполяции известной нам квантовой механики и общей теории относительности, такая модель может отражать определенные закономерности реального мира, хотя, как подчеркивает автор этой модели, дальнейшее накопление наблюдательных данных и совершенствование теории могут существенно ее деформировать.

Гипотезы о строении Вселенной обладают огромной эвристической силой, и их построение и анализ представляют собой одну из важнейших задач современной науки. Мир как целое вполне познаваем, однако любую научную картину мироздания следует рассматривать как относительную истину, которая неминуемо будет уточняться и совершенствоваться в ходе дальнейшего исследования. «...Познание бесконечного окружено двоя-

кого рода трудностями и может, по самой своей природе, совершаться только в виде некоторого бесконечного асимптотического прогресса. И этого для нас вполне достаточно, чтобы мы имели право сказать: бесконечное столь же познаваемо, сколь и непознаваемо, а это все, что нам нужно» [1, с. 549].

Каждое новое открытие ставит больше проблем, чем решает, поэтому ошибочно полагать, что быстро нарастающий темп накопления знаний позволит вскоре раскрыть все секреты физического мира. Эти слова принадлежат Л. де Бройлю — одному из творцов современной физики.

4. МОЖНО ЛИ СЧИТАТЬ ТЕОРИЮ ГРАВИТАЦИИ «ПОЛНОСТЬЮ ЗАКОНЧЕННОЙ ТЕОРИЕЙ»?

В качестве образца полностью законченной теории определенного класса взаимодействий, не имеющей затруднений или неясностей даже в мельчайших деталях и абсолютно адекватной эксперименту, А. С. Компанеец приводит теорию гравитации А. Эйнштейна. «Можно ли знать все о каком-либо классе сил?» — спрашивает А. С. Компанеец [52, с. 11]. И отвечает: «Для гравитационных взаимодействий, по крайней мере взятых в отдельности, теория может быть исчерпана». «Ни один вопрос, конечно разумный, не остается без ответа, нигде нет трудностей или неясностей даже в малейших деталях». Точка зрения автора высказана, как видим, весьма четко. Теория гравитации здесь явно абсолютизируется. А между тем сегодня в теории гравитации известен ряд по меньшей мере неясных моментов. Можно быть совершенно уверенным в том, что известная в настоящее время теория тяготения — это лишь первое, хотя, по-видимому, и очень удачное приближение к описанию реальных явлений, имеющее вполне определенную и ограниченную область применимости.

Одна из главных трудностей, испытываемых теорией А. Эйнштейна, связана с самыми основными физическими величинами — энергией и импульсом. В общей теории относительности эти величины оказываются зависящими от выбора системы координат. Простым переходом от прямоугольных декартовых координат к криволинейным гравитационная энергия пустого пространства может быть сделана отличной от нуля, даже бесконечной. В литературе описано большое количество различных физических парадоксов, обусловленных этим несовершенством современной теории гравитации (в частности, недавно А. А. Логуновым и его сотрудниками было показано, что теория А. Эйнштейна допускает процессы, которые несовместимы с законом сохранения энергии-импульса [56]). Тем не менее многочисленные попытки определить инвариантные величины, которые можно было бы истолковать как энергию и импульс гравитационного поля, до сих пор неизменно оказывались неудачными. Другими словами, теория А. Эйнштейна — по крайней мере в той ее формулировке, которая известна в настоящее время, — страдает глубоким внутренним противоречием, и утверждения о том, что эта теория полностью закончена и в ней «нет трудностей или неясностей даже в малейших деталях» [52, с. 16], не соответствуют действительности.

Проблема гравитационной энергии очень сложна и еще далека от своего решения. По-видимому, мы еще плохо понимаем сущность той чрезвычайной специфической по своим свойствам реальности, которую мы называем гравитационным полем. Трудности выглядят настолько фундаментальными, что закрадывается подозрение, не вступили ли мы здесь, еще того не осознавая, на границу совершенно нового мира явлений, где энергия, возможно, теряет свое универсальное значение и должна быть заменена какой-то более общей и фундаментальной характеристикой материальных процессов.

Это означало бы настоящую революцию в физических представлениях*.

Другое важное направление развития современной теории гравитационных явлений — ее квантовое обобщение. Нельзя не заметить, что движение частиц в теории А. Эйнштейна рассматривается на основе строгого лапласовского детерминизма, а это резко противоречит квантовой природе микрочастиц. Поэтому переход к исследованию гравитационного взаимодействия в ультрамалых пространственно-временных масштабах заведомо потребует квантовых обобщений общей теории относительности. Правда, на первый взгляд может показаться, что теория А. Эйнштейна не имеет прямого отношения к субатомным процессам, поскольку величина описываемого ею гравитационного взаимодействия крайне мала по сравнению со всеми другими типами взаимодействий, проявляющимися в области микроявлений. Например, сила кулоновского отталкивания двух электронов в 10^{42} раз больше величины их гравитационного притяжения, а вероятность аннигиляции электрон-позитронной

* В последнее время большое внимание привлекают работы А. А. Логунова с сотрудниками [см., например, 42, 56], где гравитация в отличие от теории А. Эйнштейна рассматривается не как кривизна пространства-времени, а как физическое поле, которое, подобно всем другим известным полям, переносит энергию и действует в плоском, неискривленном пространстве. Специфической особенностью гравитационного поля является то, что если его исключить из уравнений, то для всех других полей пространство-время становится искривленным. Само гравитационное поле всегда действует в плоском пространстве; эффективного самодействия, искривляющего пространство-время, у гравитации нет. Это поле представляет собой как бы всеобщий фон, на котором действуют все другие физические поля и макроскопические объекты. При таком подходе система уравнений общей теории относительности отличается от уравнений Эйнштейна. Отличными оказываются и многие физические следствия, для проверки которых необходимы специальные эксперименты. В то же время новая теория, как и теория Эйнштейна, объясняет все известные в настоящее время экспериментальные факты [42]. При этом энергия сохраняется.

пары в два гравитона при энергиях ~ 1 Гэв в 10^{77} раз меньше вероятности их фотонной аннигиляции. Различия поразительные. Если представить себе, что электромагнитные силы, «привязывающие» электрон к атомному ядру, ослабевают до уровня гравитационных, то атом водорода стал бы больше видимой нами части Вселенной. И хотя гравитационные силы возрастают при уменьшении расстояний, этот рост происходит очень медленно.

Преобладающими гравитационные взаимодействия становятся лишь в фантастически малых интервалах $< 10^{-32}$ см, где энергия квантовых флуктуаций пространственно-временной метрики приобретает уже макроскопические масштабы, а кривизна пространства-времени настолько сильно изменяется от точки к точке, что четырехмерное пространство-время становится, образно говоря, похожим на губку или пену самозамыкающихся под действием гравитационного поля микроскопических объемов. Интервалы $< 10^{-32}$ см обычно и имеют в виду, когда говорят о возможности полностью пренебречь гравитацией при изучении явлений микромира. Ведь если не предположить, что еще где-то, на значительно больших расстояниях, происходят какие-то кардинальные изменения известных нам физических законов (действительность всегда оказывается несравненно богаче и удивительнее любой фантазии), то интервалы $< 10^{-32}$ см едва ли когда-либо станут доступными для непосредственного экспериментального исследования*.

* Из квантовой механики, где движение частиц описывается на основе волновых законов, известно, что траектория частицы представляет собой не идеально тонкую линию, как это имеет место в обычной классической механике, а «размазана» внутри трубки с диаметром порядка длины дебройлевской волны частицы λ . Поэтому расстояния $\Delta x \sim \lambda$ — это минимальные пространственные интервалы, которые мы можем исследовать («прощупать») экспериментально. Длина волны λ уменьшается с ростом энергии частицы. С помощью частиц, которые обладают наибольшей энергией, достижимой на современных ускорителях, можно исследовать расстояния

Однако гравитационные взаимодействия достигают уже вполне измеримой величины — приблизительно такой же, как изучаемые в современных экспериментах процессы слабого взаимодействия на расстояниях $\sim 10^{-19}$ см, т. е. при энергиях частиц $\sim 10^{12}$ Гэв. На опыте такую энергию можно получить при столкновении двух встречных пучков частиц с энергиями 10^6 Гэв. Это очень большие энергии — в тысячу раз больше тех, что осваиваются на современных ускорителях (не говоря уже о трудностях создания системы сталкивающихся пучков). Но технически это станет возможным уже в ближайшие десятилетия.

То обстоятельство, что гравитационные взаимодействия намного слабее ядерных, отнюдь не означает, что в области микроскопических пространственно-временных масштабов о принципиальных затруднениях теории тяготения можно забыть. Трудности теории не становятся менее принципиальными, если они проявляются лишь в процессах, которые мы сейчас считаем весьма редкими, тем более что квантовое обобщение общей теории относительности имеет значение не только для физики микромира. Оно позволяет предсказать также ряд важных астрофизических явлений, которые в настоящее время можно изучать экспериментально. Например, рас-

$\sim 5 \cdot 10^{-16}$ см. Интервалы 10^{-32} см соответствуют энергиям частиц $\sim 10^{40}$ Гэв. Для сравнения укажем, что самая большая зарегистрированная до сих пор энергия частиц составляет $\sim 10^{12}$ Гэв. Такой энергией обладают отдельные, очень редкие частицы космического излучения.

Исходя из того что все физические процессы взаимосвязаны и те процессы, которые протекают в очень малых интервалах Δx , оказывают небольшое, но вполне определенное влияние на явления в больших пространственных областях, мы можем получить сведения и о явлениях, которые протекают внутри отрезков Δx , меньших дебройлевской волны λ . Однако даже незначительное углубление в область $\Delta x < \lambda$ требует чрезвычайно существенного увеличения точности измерений, поэтому продвинуться в область $\Delta x < \lambda$ удастся лишь при исключительных, особо благоприятных условиях.

четы С. Хоукинга и др. показали, что именно квантовые эффекты регулируют во Вселенной поведение так называемых «черных мини-дыр» с размерами $< 10^{-13}$ см. Более того, существуют предположения, что квантовые гравитационные эффекты определяют природу колоссальных космических структур — так называемых полужамкнутых миров. Такие структуры представляют собой почти замкнувшиеся области искривленного пространства-времени, проявляющиеся для внешнего наблюдателя в виде микроскопических объектов с атомными ($\sim 10^{-8}$ см) и даже ядерными ($\sim 10^{-12}$ см) размерами. Их свойства должны одновременно подчиняться и макроскопическим законам общей теории относительности, и закономерностям квантовой теории (подробнее см. § 14).

Разработка квантовой теории гравитационного поля — это исключительно трудная задача. Если не считать случая очень слабых полей, когда можно воспользоваться линейным приближением, все попытки более или менее последовательного синтеза квантовых законов с аппаратом общей теории относительности были безуспешными [см. обзоры 7, 67]. Существенное продвижение здесь было достигнуто лишь в последние годы, после того как для квантования нелинейных полей были использованы идеи Фейнмана о том, что квантовая картина реализуется в результате особого, вероятностного усреднения всех кинематически возможных эволюций («траекторий») классического поля [82]. Тем не менее и в настоящее время мы еще не располагаем теорией, подобной, например, квантовой электродинамике, которая позволяла бы рассчитывать квантовые эффекты в сильных гравитационных полях. Как правило, в теоретических выражениях присутствуют бесконечные члены, от которых неизвестно как избавиться.

Трудности становятся особенно рельефными при сравнении с электродинамикой. В электромагнитных эффектах имеются только два источника бесконечностей — по-

левые добавки к массам и к зарядам взаимодействующих частиц. Эти добавки можно объединить с соответствующими постоянными массы и заряда, после чего заменить (перенормировать) получившиеся бесконечные величины на экспериментально наблюдаемые массы и заряды. Перенормированная электродинамика не содержит уже никаких бесконечностей. В гравитационной теории положение несравненно сложнее. Здесь присутствуют бесконечности самого различного происхождения, и возможность избавиться от них связывается лишь с надеждой на то, что расходящиеся выражения имеют противоположные знаки и в сумме могут компенсировать друг друга. Такая компенсация действительно имеет место, когда в гравитационном поле нет других частиц; в противном случае квантованные уравнения А. Эйнштейна оказываются неперенормируемыми — в них обязательно присутствуют не имеющие физического смысла бесконечности [101].

Можно ожидать, что, подобно тому как это уже имело место в механике и электродинамике, учет квантовых эффектов откроет качественно новую область явлений, и это будет не исправлением «слабостей» теории А. Эйнштейна, а переходом к изучению более глубокого уровня материального мира с его специфическими фундаментальными закономерностями.

Еще одна «горячая точка» общей теории относительности. Пока остается неясным, в какой степени уравнения А. Эйнштейна будут применимы для описания процессов в той области, которая проявляется в решениях этих уравнений как некоторая особая точка во времени (так называемое начало мира). Сам А. Эйнштейн рассматривал космологическую сингулярность как недостаток общей теории относительности, который должен быть устранен будущей единой теорией поля. Однако независимо от того, какое конкретное решение этот вопрос найдет в будущем, наличие особой точки в решениях

гравитационных уравнений имеет огромное эвристическое значение, указывая на возможность существенного изменения известной нам физики вблизи этой загадочной точки. Сегодня это далеко не абстрактный вопрос, поскольку наблюдательная астрономия все ближе подходит к «окрестностям» космологической сингулярности: наблюдая объекты, удаленные от нас на расстояние $\sim 10^{23}$ км, мы встречаемся как раз с теми «осколками», которые образовались в «окрестностях» сингулярной точки во время «первоначального взрыва»*. Теоретическое и экспериментальное изучение космологической сингулярности — фундаментальнейшая проблема современной науки.

Такие базисные свойства окружающего нас мира, как одномерность времени и трехмерность пространства, вообще постулируются теорией относительности, берутся ею как данные. Происхождение этих свойств, их материальная основа остаются для нас такими же таинственными и загадочными, как и во времена древних греков; обусловлены ли они каким-то «квантовым уровнем», или для их объяснения потребуются создать какую-то теорию «сверхотносительности» — об этом можно только размышлять. А ведь пространственно-временная размерность лежит в основе всей концепции теории, на которую возлагается задача объяснить «строение мира в целом». Как же можно в этих условиях говорить об абсолютной завершенности теории «даже в мелочах»?

Если даже согласиться с утверждением о том, что замечательная теория, созданная А. Эйнштейном, еще «нигде, даже отдаленно, не подошла к границам своей применимости» [см. 53, с. 114], то это не дает оснований считать, что свойства гравитационного поля отражаются этой теорией абсолютно точно, «в последней инстанции».

* Размер видимой нами расширяющейся части Вселенной — $R = T \cdot c$, где $T \sim 2 \cdot 10^{10}$ лет — «возраст» Вселенной, $c = 3 \cdot 10^5$ км/сек — скорость света.

Подобно тому как классическая механика Ньютона — сама по себе логически замкнутая и совершенная теория — представляет собой лишь приближенное, модельное отражение действительности, уточняемое квантовой механикой и теорией относительности, так и современная теория гравитации должна быть лишь частным случаем некоторой более общей теории, значительно точнее и глубже отражающей свойства гравитационных явлений. Будущая теория не отбросит теорию Эйнштейна, а лишь ограничит область ее применимости*. Поэтому вполне правомерно говорить о том, что основы теории гравитации сформулированы еще не до конца**.

Понятно, что этот методологический вывод ничего общего не имеет с утверждениями о неполноте и недостаточности уравнений теории А. Эйнштейна даже в той области, где выводы этой теории согласуются сейчас с известным экспериментальным материалом. Это совершенно другая постановка вопроса, требующая конкретного физического анализа, и ее нельзя смешивать с философским вопросом о принципиальной неисчерпаемости свойств и явлений материального мира не только в количественном, но и в качественном аспекте***.

* Следует заметить, что было бы несправедливо считать (как это иногда делается), что заслуга создания теории гравитации целиком принадлежит одному А. Эйнштейну. В разработку этой теории существенный вклад внесли многие ученые, в частности, А. Пуанкаре, Гроссман и особенно выдающийся немецкий математик Д. Гильберт, который вывел уравнения гравитационного поля даже несколько раньше А. Эйнштейна. Тем не менее мы будем продолжать называть теорию гравитации теорией Эйнштейна, поскольку вклад Эйнштейна в создание этой теории и формулировку ее принципиальных основ был определяющим.

** Нельзя согласиться с Т. Куном, который пишет о том, что все новые научные теории опровергают предшествующие, подобно тому как теория относительности, по его мнению, опровергла классическую механику Ньютона [54, с. 131]. Такая точка зрения противоречит истории развития науки.

*** В работе [43] обращается внимание на то, что при рассмотрении предельного перехода гравитационных законов А. Эйнштейна

Теория гравитации А. Эйнштейна неизбежно должна получить уточнение и дальнейшее развитие в рамках каких-то более общих концепций. Это подтверждается, в частности, теорией так называемой супергравитации. В основе этой интенсивно развивающейся сейчас теории лежит требование инвариантности явлений природы по отношению к единой группе преобразований пространственно-временных и спиновых координат. Подобно тому, как обобщение релятивистски-инвариантного уравнения Клейна — Гордана на спиновую переменную привело к открытию спинорного поля П. Дирака, описывающего электроны и позитроны, так и в случае гравитационного поля учет спинов преобразует это поле в единый «супергравитационный мультиплет», в состав которого входит поле частиц со спином, равным двум (это гравитоны, с которыми физики уже встречались при квантовании уравнений Эйнштейна), и некоторое новое поле, соответствующее частицам с дробным спином. По аналогии с нейтрино эти частицы часто называют гравитино. Поле гравитонов и поле гравитино является специфическим проявлением различных аспектов супергравитации, подобно тому, как, например, электрическое и магнитное поля есть проявление конкретных свойств единого электромагнитного поля.

Теоретическое и экспериментальное изучение следствий спинорного уравнения П. Дирака открыло совершенно новый и очень богатый по своему содержанию раздел физики, где мы впервые встретились с античастицами, с процессами аннигиляции, с фоном отрицатель-

в классический закон тяготения Ньютона делается незаконный логический «скачок», когда существенно немаксовелловское метрическое поле Эйнштейна отождествляется с энергетическим полем Ньютона. В этом смысле можно сказать, что у теории относительности Эйнштейна в действительности нет классического предела и она не удовлетворяет принципу соответствия.

Это очень важный и неожиданный вывод, который предстоит еще теоретически осмыслить.

ных энергий и другими принципиально новыми и неожиданными явлениями. Спинорное обобщение гравитационных уравнений может оказаться еще более богатым и поразительным, хотя в настоящее время это пока еще область чисто теоретических предположений, где все очень зыбко и туманно [см., например, обзор 101]*.

Когда обсуждается вопрос о том, правильна эйнштейновская теория гравитационных явлений или нет (а тем более возможна ли ее «полная завершенность»), нельзя забывать и еще одного очень важного факта: в отличие от трех других известных сейчас типов взаимодействий — электромагнитного, слабого и сильного, с которыми выполнены сотни и тысячи различных экспериментов, в области гравитационных явлений до сих пор известно лишь несколько принципиально различающихся опытов, результаты которых могут количественно сравниться с теорией. Эти эксперименты относятся к специальному случаю, когда отклонение от плоского пространства-времени невелико; но даже в этом случае погрешности эксперимента составляют несколько процентов. В частности, если при дальнейшем повышении точности измерений окажется, например, что световые лучи отклоняются гравитационным полем Солнца хотя бы на несколько процентов слабее, чем это предсказывает теория А. Эйнштейна, это будет свидетельствовать в пользу другой известной сегодня теории гравитации — так называемой тензорно-скалярной теории. Что касается сильных полей тяготения, то наши знания о них яв-

* В супергравитации, по-видимому, нет упоминавшихся выше трудностей с неустраняемыми бесконечными выражениями, возникающими при попытках квантования поля Эйнштейна. Вклад гравитонов в эти выражения компенсируется вкладом гравитино, и в целом теория оказывается свободной от расходимостей. Правда, полного доказательства такой компенсации еще нет, «гашение» бесконечностей проведено пока лишь при вычислении довольно простых эффектов (для низших членов разложений — по константе взаимодействия).

ляются лишь теоретической экстраполяцией, и в принципе не исключено, что теория А. Эйнштейна окажется достаточной только для приближенно-качественного их описания.

Пока нет полной ясности в проблеме гравитационных волн. Существуют ли эти волны в том виде, как их предсказывают теоретические расчеты, каким образом их можно экспериментально обнаружить — эти вопросы являются предметом интенсивного обсуждения (некоторые физики вообще сомневаются в существовании гравитационного излучения в пустом пространстве как реально наблюдаемого феномена; такой точки зрения придерживался, в частности, Л. Инфельд — один из ближайших сотрудников А. Эйнштейна [31, 46]).

Утверждения об «абсолютном согласии» теории гравитации с опытом в этих условиях выглядят не очень убедительными. Более того, некоторые астрофизики считают, что часть наблюдаемых в астрономии явлений уже сейчас нельзя объяснить с помощью известных физических законов. «На основе фундаментальных законов и теорий современной физики, — пишут В. А. Амбарцумян и В. В. Казютинский [9, с. 31—32], — удалось построить модели и теории значительного числа астрофизических объектов вплоть до нашей Вселенной — Метагалактики, включить их в систему физического знания. Однако многие проблемы астрономии — и притом самые важные — остаются нерешенными; к их числу относятся в первую очередь проблемы энергетики космоса, связанные с истолкованием явлений в нестационарных объектах, многие из проблем космологии и др. Астрофизические открытия ставят под сомнение универсальность фундаментальных теорий современной физики». Сходных взглядов придерживается и ряд ведущих зарубежных астрофизиков [см. например, 112, 119].

Правда, недостаток экспериментальной информации позволяет ввести дополнительные гипотезы о деталях

механизма явлений и такой ценой избежать пока выхода за рамки обычной квантово-релятивистской физики [39]*. В современной физике, прежде всего в общей теории относительности, еще много неиспользованных возможностей для объяснения астрономических данных. Существующие физические представления пока еще не привели к явным противоречиям принципиального характера. Тем не менее некоторая неопределенность налицо, поэтому к утверждениям о «полной законченности» теории гравитации следует относиться с большой осторожностью**.

* В качестве иллюстрации приведем пример одной из таких гипотез. В галактике NGC 1275 наблюдается выброс огромных газовых потоков со скоростями, равными нескольким тысячам км/сек. Для объяснения этого явления приходится на основе известных физических представлений допустить, что около пяти миллионов лет назад в ядре галактики NGC 1275 произошел взрыв, энергия которого сопоставима с энергией, выделяющейся при полной аннигиляции (полном переходе в излучение) одновременно многих сотен тысяч звезд, подобных нашему Солнцу. Энерговыделение настолько грандиозно, что невольно закрадывается мысль о том, что мы соприкасаемся здесь с новой физикой.

** В литературе иногда можно встретить очень резкие высказывания о недостаточной обоснованности общей теории относительности. Например, широко известный своими работами по квантовой физике и теории конденсированных сред французский физик Л. Бриллюэн считает, что «нет никаких экспериментальных фактов, подтверждающих громоздкую в математическом отношении теорию Эйнштейна. Все, что сделано после Эйнштейна, представляет математически сложные обобщения, дополнения и видоизменения, не имеющие экспериментального подтверждения. Научная фантастика в области космологии — это, откровенно говоря, очень интересная, но гипотетическая вещь» [25, с. 83]. По его мнению, «общая теория относительности — блестящий пример великолепной математической теории, построенной на песке и ведущей ко все большему нагромождению математики в космологии» [25, с. 28].

С подобными высказываниями никак нельзя согласиться. Как правило, они бывают основаны либо на неправильном, превратном толковании содержания и следствий общей теории относительности, либо на предвзятых и ложных философских положениях.

Мы видим, что приводить современную теорию гравитации в качестве эталона «принципиально законченной» теории, в которой «нигде нет трудностей или неясностей даже в малейших деталях» [52, с. 16], по меньшей мере нет оснований. Наоборот, как подчеркивал А. З. Петров — физик, внесший существенный вклад в развитие этой теории, особенно важно иметь в виду «эволюцию теории гравитации... возможность ее развития, необходимость отказа от всяких попыток представить эту теорию как законченную в своем развитии, такой, в которой все уже сказано и остаются лишь мелкие добавки, отшлифовка деталей» [78, с. 30]. А. Эйнштейн также был убежден в том, что «наши представления о физической реальности никогда не могут быть окончательными» [109, с. 7]*. По его мнению, лучший удел физической теории состоит в том, чтобы указывать путь создания новой, более общей теории, в рамках которой она сама остается предельным случаем.

Развитие общей теории относительности до сих пор шло главным образом лишь в плане ее приложений, однако это не дает основания утверждать, что заведомо не будет обнаружено каких-либо экспериментальных

Что касается книги Л. Бриллюэна [25], то содержательный разбор ее методологических посылок, приведших к неоправданно резким выводам, дан в работе Н. В. Мицкевича и Э. М. Чудинова, опубликованной в сборнике «Философские проблемы астрономии XX века» (М., 1976).

* Некоторые авторы — как физики, так и философы — подчеркивают всеобщий характер гравитации, рассматривая ее тем самым фактически как атрибут материи. Так, по мнению Н. В. Мицкевича, «всегда уместно повторять тезис об универсальности гравитационного взаимодействия и о тесной связи этой универсальности со всеобщностью пространственно-временной формы существования материи» [67, с. 118]. Нельзя, однако, забывать о том, что тяготение — это всего лишь одно из конкретных свойств материи (как и другие проявления супергравитационного поля, если говорить на языке современной теории). Абсолютизировать это свойство нам представляется неправильным с методологической точки зрения.

фактов в области гравитационных явлений, которые не согласуются с теорией А. Эйнштейна и потребуют ее уточнения. Тот факт, что некоторая теория продолжительное время остается неизменной в своих основах, указывает лишь на то, что для изменения этих основ требуется привлечение качественно новых экспериментальных фактов.

Как известно, на рубеже XX в. лорд Кельвин говорил о том, что физику как науку можно считать полностью законченной, если не обращать внимания на два небольших облачка на ее горизонте: на трудности с интерпретацией опыта Майкельсона по измерению скорости света и на неясности в объяснении излучения черного тела. Однако именно из этих «небольших облачков» в конечном счете и развилась вся современная физика*.

Положение, которое сложилось в современной науке, особенно в физике, отличается от ситуации, имевшей место в конце XIX — начале XX в., тем, что сегодня мы можем говорить об островках более или менее относительно завершенных теорий и безбрежном океане фактов, которые мы в лучшем случае можем охватить лишь приближенной систематикой. «Познание есть вечное, бесконечное приближение мышления к объекту. *Отражение природы в мысли человека надо понимать... не без*

* Интересно, что в это же время аналогичную ошибку в отношении математики допустил А. Пуанкаре. В докладе на математическом конгрессе в 1900 г., характеризуя состояние работ по обоснованию математики, он утверждал: «Сегодня мы можем сказать, что достигнута абсолютная точность» [128, с. 200]. Однако всего через несколько лет все здание математики было буквально потрясено антиномиями и противоречиями, обнаруженными в самих ее основах — в системе аксиом логики и теории множеств. Значительно позднее, в 1946 г., Г. Вейль, один из ведущих математиков XX в., писал: «Мы меньше, чем когда-либо, уверены в первичных основах логики и математики» [138]. Глубокие трудности в основаниях математики по существу не устранены (быть может, лишь частично обойдены) и в настоящее время.

движения, не без противоречий, а в вечном процессе движения, возникновения противоречий и разрешения их» [4, с. 177].

5. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА — ЕЩЕ ОДИН ПРИМЕР «ЗАКОНЧЕННОЙ ТЕОРИИ»?

В качестве еще одного примера «окончательной теории» или очень близкой к этому иногда приводится теория электронов — квантовая электродинамика. На том основании, что электрон — это чисто электромагнитный объект, что даже при длинах волн 10^{-20} см и меньше он не проявляет никаких структурных свойств и ведет себя как заряженная точка [52, с. 30], делается вывод о возможности познать до конца свойства электрона.

Однако тот факт, что во всех современных экспериментах электрон ведет себя подобным образом, вовсе не означает, что он — чисто электромагнитный объект, свойства которого целиком определяются электромагнитным взаимодействием и поэтому могут быть «исчерпаны до конца». Во-первых, экспериментальные возможности сегодня позволяют изучать структуру частиц лишь до расстояний $\Delta x \geq 5 \cdot 10^{-16}$ см*; расстояние $\Delta x \sim 10^{-20}$ см соответствует фантастически большому и практически недоступным для нас сейчас энергиям $E \sim 10^{11} - 10^{13}$ Гэв. Во-вторых, имеется много соображений, из которых следует, что на расстояниях $\Delta x \leq 10^{-16} - 10^{-17}$ см слабые взаимодействия лептонов становятся столь же эффективными, как и электромагнитные, благодаря чему вокруг электрона образуется облако виртуальных частиц, порожденное слабыми взаимодействиями. Поэтому на расстояниях $\Delta x < 10^{-16}$ см электрон следует уже рассматривать как объект с очень сложной внутренней структурой. Если эту структуру еще не удалось наблюдать экспериментально, то это связано лишь с тем, что со-

* См. примечание на с. 33, а также монографию [19].

временная ускорительная техника не позволяет пока «прощупать» столь малые расстояния. Правда, в космических лучах наблюдаются частицы сверхвысоких энергий, позволяющие в принципе «просвечивать» электрон вплоть до расстояний порядка его ожидаемого размера, однако число таких частиц крайне незначительно и точность опытов чрезвычайно низка*.

Логическая стройность аппарата квантовой электродинамики, исключительно высокая точность согласия ее результатов с опытом** [19] делают эту теорию образцом для описания других типов взаимодействия (даже теория гравитации строится сейчас на основе так называемого принципа калибровки — по примеру электромагнитной теории). И тем не менее нельзя утверждать,

* В статье А. С. Компанейца [53, с. 114] указывается, что «в космических лучах наблюдаются частицы с энергиями до 10^{19} эв и выше, и нет никаких экспериментальных указаний на то, что закономерности квантовой электродинамики нарушены». Однако, помимо того что таких высокоэнергетических частиц крайне мало, они практически все являются протонами и атомными ядрами, а электронно-позитронная компонента образуется лишь в ходе развития «электромагнитного ливня», сопровождающего «ядерно-каскадный процесс» в атмосфере. Энергия электронов и позитронов оказывается значительно меньше энергии первичных ядерных частиц. Следует иметь в виду, что «ядерно-каскадный процесс» и «электромагнитный ливень» представляют собой очень сложные явления с участием большого числа частиц различной энергии и направлений движения. Интерпретация этих явлений даже в области хорошо известных законов представляет собой исключительно сложную задачу.

** Наибольшая точность достигается при сравнении теоретического и экспериментального значений аномального магнитного момента электрона:

$$\mu_{\text{теор}} = (1\,159\,652,40 \pm 0,4) \cdot 10^{-9}$$

$$\mu_{\text{эксп}} = (1\,159\,652,41 \pm 0,2) \cdot 10^{-9}$$

В других случаях согласие с опытом несколько хуже — в основном из-за трудностей произвести достаточно точные расчеты, учитывающие все необходимые эффекты, в том числе интерференцию электромагнитного и других типов взаимодействий [19].

Мы специально привели длинные численные значения, чтобы наглядно проиллюстрировать исключительно высокую, «астрономи-

что современная квантовая электродинамика представляет собой завершенную теорию электромагнитного типа взаимодействий. Как и всем современным теориям поля, квантовой электродинамике присущи глубокие внутренне противоречия: многие величины (магнитные моменты частиц, их массы и т. д.), измеряемые в опыте, в теории оказываются расходящимися, бесконечными, а все попытки сделать их конечными приводят к неустраняемым противоречиям.

С помощью процедуры перенормировки бесконечные величины можно однозначно выделить и заменить соответствующими экспериментальными значениями. Однако теоретическое вычисление этих величин или хотя бы электромагнитных добавок к ним (например, «электромагнитной» массы частицы) остается пока за рамками квантовой электродинамики и может быть выполнено лишь в будущей, более совершенной теории.

Подобно классической теории Дж. Максвелла, современная квантовая электродинамика основана на идеализации, допускающей возможность бесконечно малых, точечных частиц. Учет размеров частиц и вообще любая попытка ввести какую-либо минимальную длину, ограничивающую область применимости известных нам сейчас физических законов со стороны малых масштабов, неизменно нарушают релятивистскую инвариантность, порождают акаузальные эффекты и т. д.

Однако и предположение о точечности частиц приводит к трудностям: происходит своеобразное «самовыключение» электромагнитного взаимодействия, когда заряды частиц, получаемые из решения полевых уравнений,

«исключают» точность достигнутого изучения электромагнитных явлений. Однако, какова бы ни была точность теоретических и экспериментальных величин, в них всегда будут присутствовать определенные погрешности (в данном случае $\Delta\mu_{\text{теор}} = 4 \cdot 10^{-10}$, $\Delta\mu_{\text{эксп}} = 2 \cdot 10^{-10}$, все в единицах так называемых магнетонов Бора [19]). В этих погрешностях заключена принципиальная возможность дальнейшего количественного и качественного развития наших знаний.

оказываются равными нулю. Дело в том, что вокруг каждой частицы под действием ее электромагнитного поля из вакуума могут рождаться другие, виртуальные частицы, заряд которых компенсирует (экранирует) центральный «затравочный» заряд*. Вероятность образования таких частиц, а следовательно, и величина компенсирующего заряда тем больше, чем меньше размеры «материнской» частицы (вспомним закон Кулона: чем ближе к центру заряда, тем сильнее электромагнитное поле), поэтому при очень малых размерах частицы происходит полная компенсация ее заряда: эффективный, проявляющийся в эксперименте заряд оказывается равным нулю. Этот эффект не зависит от того, каким был исходный, «затравочный» заряд частицы; даже если этот заряд был бесконечно большим, то при стягивании радиуса частицы в точку произойдет его полная нейтрализация.

Получается парадоксальный вывод: приближенное решение полевых уравнений в виде ряда по степеням постоянной взаимодействия (наблюдаемого электрического заряда) дает прекрасное согласие с экспериментом (см. примечание на с. 46). Если же попытаться решить уравнения более точно, без разложения в ряд, то расчетная величина заряда оказывается равной нулю, и мы должны сделать вывод о том, что между частицами вообще не может быть электромагнитного взаимодействия.

Из этого ясно, что квантовую электродинамику нельзя рассматривать как абсолютно замкнутую теорию. Согласно современным представлениям, квантовая электродинамика — это приближенное, феноменологическое описание дальнедействующих эффектов («хвоста») более фундаментальных глюонно-кварковых взаимодействий (см. § 12). На очень малых расстояниях, где уравнения квантовой электродинамики предсказывают исчез-

* Это явление называется поляризацией вакуума; оно проявляется во многих экспериментально наблюдаемых процессах.

новение электрических зарядов частиц, эта теория просто неприменима. Еще на значительно больших расстояниях электродинамика сливается с теорией слабых взаимодействий в более общую — «электрослабую теорию».

Есть еще одно очень серьезное основание утверждать, что не только квантовая теория электромагнитного поля, но и вся современная полевая концепция весьма далека от «полной завершенности». В конце 50-х годов Н. Н. Боголюбов сформулировал формально непротиворечивую систему аксиом квантовой теории поля (о том, в каком смысле можно говорить о непротиворечивости аксиоматического базиса физических теорий, см. § 6). Однако если не считать тривиального случая свободного, невзаимодействующего поля, то до сих пор не найдено ни одного примера (модели), для которого полевые уравнения решались бы до конца и в то же время удовлетворялась бы полная система полевых аксиом. Вслед за Н. Н. Боголюбовым другие теоретики выдвинули несколько отличные наборы аксиом, однако результат по существу остался тем же.

Все это очень напоминает ситуацию, с которой мы встречаемся в современной математике: теория обладает замечательной стройностью и с успехом используется для очень точных расчетов, хотя в ее основаниях имеются поразительные противоречия. Создается впечатление, что современная теория поля, не говоря уж об электродинамике, слишком «привязана» к нашим макроскопическим представлениям.

Утверждения об «окончательной формулировке» законов электромагнитных взаимодействий, применимых при всех условиях и не требующих дальнейших обобщений, выглядят не более убедительными, чем в случае теории гравитации. В настоящее время можно говорить лишь о том, что мы с высокой степенью точности знаем законы электромагнитных явлений в весьма широкой области пространственно-временных интервалов (и в

этом смысле квантовая электродинамика, как и любая другая теория некоторого ограниченного круга явлений, достаточно завершенная теория), однако выход за рамки этих интервалов потребует обобщения известных законов электромагнитного взаимодействия. Нельзя не согласиться с А. И. Ахиезером и В. С. Готтом, которые именно на примере квантовой электродинамики иллюстрируют «невозможность построения замкнутой физической теории ограниченного круга явлений без учета более широкого класса взаимосвязей и взаимодействий, существующих в природе» [13, с. 84]. Фундаментальные трудности современной квантовой электродинамики, о которых шла речь выше, указывают именно на это.

В. И. Ленин не был физиком, но он почти три четверти века тому назад приводил электрон в качестве примера неисчерпаемо сложной системы. Диалектический материализм, писал В. И. Ленин, «настаивает на приблизительном, относительном характере всякого научного положения о строении материи и свойствах ее, на отсутствии абсолютных граней в природе, на превращении движущейся материи из одного состояния в другое, по-видимому, с нашей точки зрения, непримиримое с ним и т. д.», ибо ««сущность» вещей или «субстанция» тоже относительны; они выражают только углубление человеческого познания объектов, и если вчера это углубление не шло дальше атома, сегодня — дальше электрона и эфира, то диалектический материализм настаивает на временном, относительном, приблизительном характере всех этих *вех* познания природы прогрессирующей наукой человека» [3, с. 276, 277]. Положение о «неисчерпаемости электрона» означает, что научное исследование «частицы электричества», как и всех других частиц, может идти как угодно далеко и приносить все новые и новые сведения. Этот важнейший философский вывод является одним из руководящих методологических принципов физического исследования.

Мы подробно рассмотрели состояние двух наиболее совершенных по форме, «почти законченных» физических теорий для того, чтобы наглядно продемонстрировать, насколько «финитные гипотезы» о возможности построения «законченной теории» фундаментальных законов природы не подтверждаются тенденциями развития современной науки. В то же время это убедительно показывает несостоятельность и противоположных концепций, согласно которым существуют непреодолимые преграды на пути сколь угодно точного познания явлений природы. Как излишне оптимистические гипотезы о «всеобъясняющей теории», так и неоправданно пессимистические предложения о принципиальной ущербности наших познавательных возможностей абсолютизируют отдельные, частные стороны бесконечного процесса познания.

Остановимся теперь еще на одном важном аспекте проблемы неисчерпаемости материи, связанном с построением единой теории фундаментальных законов природы, — на аксиоматической структуре науки и характере ее изменений.

6. АКСИОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНОГО ЗНАНИЯ

Теория считается аксиоматической (аксиоматизированной), если все ее утверждения можно чисто логически вывести исходя из некоторого конечного числа основных, неопределяемых в рамках данной теории положений — постулатов. Эти постулаты формулируются в терминах первичных (также неопределяемых внутри рассматриваемой теории) понятий, и этих понятий должно быть достаточно для однозначного определения всего понятийного аппарата теории.

Постулаты и первичные понятия составляют аксиоматический базис теории. В формальном плане этот базис играет роль, аналогичную роли математического аппара-

та, определяющего элементы и свойства некоторого абстрактного пространства. Понятия аналогичны координатным векторам, а постулаты — связывающим их операциям. Как и математический аппарат, аксиоматику теории можно строить по-разному. Какие понятия и положения, имеющиеся в распоряжении исследователя, следует взять за исходные, в значительной степени зависит от конкретных условий, в частности от того «общественного мнения», которое господствует на данном этапе развития науки. При этом аксиоматический базис должен удовлетворять требованию минимальности (независимости и полноты), т. е. ни один из его элементов не может быть сведен к другим и в то же время все они действительно необходимы для построения теории.

Понятно, что постулаты теории не должны содержать явных противоречий в себе или по отношению друг к другу. Однако, насколько непротиворечивым в действительности является аксиоматический базис теории, можно определить лишь в результате анализа вытекающих из него следствий. Как было уже показано К. Гёделем, любая, достаточно богатая по своему содержанию аксиоматика неполна и чревата противоречиями уже в силу того, что с ее помощью можно сформулировать утверждения, которые в рамках данной системы аксиом нельзя ни доказать, ни опровергнуть. Абсолютно полная и совершенно непротиворечивая формализация теории просто невозможна.

Нельзя не заметить, что в основе любой теории лежат определенные исходные понятия и допущения, однако в неаксиоматизированной теории они не составляют «минимального базиса». Для такой теории характерна либо большая избыточность (различные феноменологические и полуфеноменологические теории), либо, наоборот, существенная неполнота (различного рода модельные подходы, подчеркивающие лишь некоторые выбранные свойства изучаемых объектов).

Наиболее общие положения аксиоматической теории заложены в системе ее постулатов, все остальное содержание теории разворачивается чисто дедуктивно. Ее дальнейшее развитие может происходить путем расширения и обогащений ее постулативных основ. Неаксиоматизированные теории, напротив, строятся с помощью последовательных обобщений. Их идеалом является установление некоторого минимального числа всеохватывающих закономерностей, которые в круге изучаемых феноменов можно было бы рассматривать далее в качестве основополагающих. Противопоставление аксиоматических и неаксиоматических теорий весьма относительно: аксиоматизация никогда не может быть абсолютно полной, и каждую аксиоматическую теорию можно трактовать лишь как фрагмент более широкой по содержанию неформализованной теории, которая в свою очередь имеет тенденцию к аксиоматизации. В сущности мы имеем здесь дело с двумя взаимопроникающими и диалектически связанными этапами развития отдельных разделов научного знания.

В действительности ситуация является еще более сложной, так как становление знания характеризуется своеобразной рекурсивностью: обоснование теории требует выхода в более широкую теоретическую конструкцию, а формулировка основных положений последней невозможна без привлечения понятий частной теории. Например, законы классической механики можно достаточно строго обосновать только в рамках более общих квантовых представлений, но интерпретация этих представлений в свою очередь требует привлечения классических понятий. В этом находит свое выражение тот факт, что все явления в природе взаимозависимы и расщепить, расчленить их целостное единство на отдельные, слабо связанные между собой области можно лишь весьма условно. На следующем, более глубоком уровне такое приближение становится слишком грубым.

До сих пор противоречие удавалось разрешить таким образом, что более общая теория каждый раз формулировалась с помощью приближенно обоснованной частной теории. Например, квантовую механику мы выражаем на языке классических понятий, пренебрегая тем, что сами эти понятия для своего точного определения требуют квантового рассмотрения. Это похоже на решение уравнения методом итераций, когда искомое решение на n -м шаге выражается через более грубое решение, найденное на предыдущем ($n - 1$ -м) шаге. Понятно, что такой подход оправдан лишь в том случае, когда эффекты, обусловленные использованием в новой, более общей теории приближенных понятий и соотношений частной теории, пренебрежимо малы по сравнению с эффектами, возникающими в результате обобщения этой частной теории.

Пока неясно, насколько далеко можно идти по такому пути. Вполне возможно, что в будущем произойдет весьма радикальное изменение самого подхода к познанию окружающей реальности и наука приобретет какую-то совершенно новую форму (см. § 19).

Каждый раздел знания имеет при своем возникновении большое число отдельных, невыводимых друг из друга положений. По мере накопления и совершенствования знаний между ними обнаруживаются логические связи и число независимых положений уменьшается. Объединение нескольких разделов знания на общей основе позволяет еще более сократить число постулатов. Однако наряду с этим открываются новые области явлений и возникают соответствующие отрасли науки, а в целом наше знание остается неаксиоматизированной системой с постоянно возрастающим числом гипотез и теоретически не обоснованных фактов. Никакая конечная система аксиом не может выразить бесконечное качественное разнообразие мира.

Единая теория всех фундаментальных законов при-

роды, если бы ее действительно можно было создать, вообще не имела бы постулятивного базиса. Такая теория по самому ее смыслу должна быть абсолютно замкнутой, все ее понятия и соотношения должны выражаться друг через друга. Однако развитие науки не подтверждает этого. В следующей главе мы покажем, как быстро возрастает объем теоретически не обоснованного, исходно-постулятивного материала, по мере того как познание углубляется в микро- и мегакосмос.

Вместе с тем это вовсе не означает снижения роли аксиоматического метода в науке. Его ценность состоит прежде всего в том, что он позволяет компактно, в виде небольшого числа принципов и соответствующих им понятий, представить огромные массивы накопленного знания. Кроме того, аксиоматика не только «сворачивает» и систематизирует уже имеющиеся научные данные, но еще со времен Ньютона и Лейбница — а в математике намного раньше — она служит для получения новых результатов. Построение аксиоматического базиса теории сопровождается глубоким анализом ее основ и акцентирует внимание на самых фундаментальных ее понятиях и принципах. При этом рельефно проявляются уже известные и обнаруживаются новые ограничения и трудности (парадоксы) теории, вследствие чего создаются условия для дальнейшего ее развития и совершенствования путем уточнения и обобщения постулятивного базиса.

Эту диалектически противоречивую особенность развития науки очень точно выразил М. Планк: «...во всякой науке часто возникает острый конфликт между исследователями, которые стараются привести в порядок признанные аксиомы науки, анализировать их и очистить от всех случайных и посторонних составных частей, — я назову их пуристами, — и такими исследователями, которые стремятся расширить данные аксиомы введением новых идей и потому охотно вытягивают шу-

пальца по всем направлениям, чтобы узнать, с какой стороны можно достигнуть успеха» [80, с. 103—104].

Ослабляя или усиливая тот или иной постулат, добавляя к нему новые аксиомы, можно по вытекающим отсюда следствиям сделать выводы об «устойчивости» теории, получить представление о вероятных направлениях ее развития, а в некоторых случаях создать принципиально новую концепцию. Такой метод используется, в частности, в квантовой теории поля и особенно широко применяется в математике. Если аксиоматизации физической теории всегда предшествует период накопления экспериментальных данных, то многие разделы математики начинаются непосредственно с построения соответствующей системы аксиом, представляя собой по существу ее логическое исследование. Известно, какой глубокий след в архитектуре всего математического здания оставила, например, аксиоматика теории групп и теории множеств. «Там, где поверхностный наблюдатель видит лишь две или несколько теорий, — пишут Бурбаки, — совершенно отличных друг от друга по своему внешнему виду, и где вмешательство гениального математика приводит к обнаружению совершенно «неожиданной помощи», которую одна из них может оказать другой, там аксиоматический метод учит нас искать глубокие причины этого открытия, находить общие идеи, скрывающиеся за деталями, присущими каждой из рассматриваемых теорий, извлекать эти идеи и подвергать их исследованию» [26, с. 248].

Важно отметить, что аксиоматический базис теории не просто аккумулирует уже накопленный экспериментальный материал, но включает в себя также определенный гипотетический элемент, обобщения известных фактов, поэтому формализованная теория всегда выходит за рамки имеющегося опыта, обладая свойством предсказывать новые, неизвестные ранее явления и закономерности.

Глава II

СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О СТРУКТУРЕ МАТЕРИИ

Конечен или бесконечен окружающий нас мир, исчерпаемы ли его фундаментальные закономерности — эти вопросы имеют особое значение при рассмотрении проблем структурной организации материи. Если признавать лишь чисто количественную неисчерпаемость мира, то необходимо признать также и то, что последовательность материальных форм должна неизбежно заканчиваться какими-то первоэлементами, «праматерией» или какой-либо еще первичной сущностью, устанавливающей естественный предел развитию науки «вглубь». Напротив, принцип качественной бесконечности природы означает признание неограниченного многообразия принципиально различных структурных форм материи, хотя это, конечно, не равнозначно допущению беспредельной, ничем не ограниченной делимости (измельчения) материальных объектов, когда «более элементарное» одновременно есть и «более малое». Содержание понятия структурной неисчерпаемости материи значительно богаче и глубже. Физики уже сегодня имеют дело со структурами, где привычное нам соотношение «часть меньше целого» оказывается неверным. Ниже мы рассмотрим, как отражается и преломляется в физике наших дней идея о неисчерпаемости структурных форм материи, к каким новым вопросам и философским проблемам приводит дальнейшее развитие и детализация этой идеи.

Прежде всего мы проанализируем само понятие элементарного объекта и обсудим различные критерии элементарности. Подобный анализ особенно актуален в настоящее время, когда число частиц, называемых элементарными, достигло несколько сот. Далее мы кратко остановимся на характеристике основных экспериментальных и теоретических данных о структуре микрочастиц. (Правда, физика развивается так быстро, что, возможно, уже в момент выхода книги некоторые из этих данных устареют.) Специальный параграф будет посвящен трудностям и парадоксам, возникающим при описании структуры микрочастиц. Как мы увидим, традиционные представления здесь часто оказываются недостаточными, а новые подходы, адекватные современным экспериментальным данным, еще только разрабатываются.

Характерной особенностью физики элементарных частиц является ее постоянно усиливающаяся связь с астрофизическими проблемами. Как это ни удивительно, но многие аспекты этих, казалось бы, расположенных на противоположных полюсах разделов физики очень близки между собой, а привычное для нас разделение мира на «микро» и «макро» в значительной степени относительно. Именно здесь, на стыке двух самых фундаментальных физических теорий нашего времени — квантовой механики и общей теории относительности, — возникают наиболее «дикие» и поражающие воображение выводы о возможных структурных формах материи. Становится все более ясным, что ключ к решению наиболее глубоких, центральных проблем строения микро- и макромира один и тот же. Обсуждение с точки зрения принципа количественной и качественной неисчерпаемости природы неожиданной взаимосвязи субатомных и космических объектов — одна из целей данной главы.

В заключение главы мы кратко рассмотрим, каким

образом неисчерпаемость материи отражается в многообразии ее пространственно-временной формы (более детально этот вопрос обсуждается в книге [19]).

7. ПРОБЛЕМА ЭЛЕМЕНТАРНОГО

Существуют ли в природе «самые последние», неделимые далее элементарные объекты, или же мир представляет собой бесконечно разворачивающуюся внутрь иерархию различных структурных форм? Борьба мнений вокруг этого важнейшего мировоззренческого вопроса красной нитью пронизывает всю историю науки.

Идея о том, что все в мире состоит из очень мелких первичных частиц — атомов («ану»), содержится уже в древнеиндийских философских учениях, хотя, по-видимому, корни ее уходят в еще более глубокие мифологические и мистические представления. В ее основе лежит эмпирический факт многократной повторяемости вещей и явлений в природе, устойчивости их взаимосвязей. Представления древнеиндийских мыслителей, а также более поздние учения греков, выросшие на почве древневосточной науки, еще не шли дальше объявления первичными частичек наиболее распространенных и часто встречающихся сред. У древних индусов и Эмпедокла это были частицы огня, земли, воды и воздуха, у Фалеса — воды. Представления о первичных частицах, качественно отличающихся по своим свойствам от состоящих из них больших, или, как принято сейчас говорить, макроскопических, тел, были значительно более поздним завоеванием науки. Однако уже сама идея о существовании некоей первоосновы мира, высказанная древними мыслителями, была важным этапом в становлении и развитии науки. Говоря словами Гегеля, «требовалась большая умственная смелость для того, чтобы отвергнуть... полноту существования природного мира и свести ее к простой субстанции, которая, как

постоянно пребывающая, не возникает и не уничтожается» [38, с. 160]. Пожалуй, не будет преувеличением считать, что именно благодаря возникновению и развитию идеи элементарного объекта сформировался тот особый тип аналитического мышления, который способствовал развитию науки в современном ее понимании, отличный от других способов культурно-интеллектуального освоения действительности [93, с. 22]. Поиск «самых элементарных» объектов и конструирование на их основе картины мира стали лейтмотивом научного творчества. Убежденность в том, что «должно быть некоторое естество — или одно, или больше одного, откуда возникает все остальное» [10, с. 71], стимулировала углубленное изучение природных объектов, а критика этой идеи лишь обостряла интерес к ней.

В V в. до н. э. Анаксагор, по-видимому, первым высказал мысль о бесконечной делимости материи. Он представлял мир как совокупность бесконечного числа частиц — «гомеомерий» (подобочастных), каждая из которых в свою очередь состоит из неисчерпаемо огромного количества более мелких «гомеомерий» и т. д. без конца. При этом каждая из этих частиц содержит в себе все свойства Вселенной, она «бесконечно велика» [60, с. 153] и, подобно целому, заключает в себе все существующее и сущее не просто бесконечно, но бесконечно бесконечно [59, с. 135].

Невидимые, исчезающе малые гомеомерии, объединяясь, порождают все чувственно воспринимаемое многообразие мира. «Следует допустить, — учил Анаксагор, — что во всем соединяющемся... содержатся семена всех вещей... В каждом содержится частица каждого». По его мнению, «среди малых величин не существует наименьшей, но уменьшение идет непрерывно, ибо существующее не может перестать существовать» [57, с. 34]. Вселенная Анаксагора напоминает набор русских матрешек, каждая из которых содержит внутри себя еще

меньшую. Такая картина кажется весьма наивной, однако, как мы увидим ниже, выводы, полученные спустя 25 веков в современной теории гравитации, удивительным образом вновь возвращают нас к весьма сходным представлениям.

Иная точка зрения сформулирована в учении Демокрита, считавшего, что мир состоит из бесконечного числа вечных, абсолютно неделимых, изначально простых частиц — атомов вещества и амеров — атомов пространства. Неисчерпаемое богатство свойств окружающего мира в такой картине реализуется благодаря бесконечному количеству различающихся по своим свойствам атомов (пирамидальных, круглых, гладких, крючковых и т. д.), которые в силу присущей им твердости и непроницаемости определяют предел физической делимости вещества. Между атомами может быть лишь пустота.

Атом Демокрита — это не точка, а протяженное тело, которое нельзя механически разделить на компоненты, но внутри которого мысленно можно все же выделить различающиеся между собой части: верх, низ, правое, левое, середину и т. д. Эти минимальные пространственные части, или амеры, представляют собой «истинное неделимое», лишенное каких бы то ни было частей, не имеющее ни верха, ни низа, ни правой, ни левой стороны. Из амеров (квантов пространства, если говорить современным языком) состоит пустота, из различного числа амеров слагаются большие и малые атомы вещества [14, 33, 58]. С современной точки зрения именно амеры («бесчастные»), а не протяженные атомы следовало бы рассматривать в качестве наипростейших элементов мира. Учение Демокрита было вершиной натур-философских представлений о материальной первооснове мира*.

* В логическом плане идея атомов и амеров представляла собой попытку разрешить глубокие противоречия античного мировоз-

В ходе развития науки в зависимости от конкретных достижений естествознания две основные концепции строения мира — его интенсивной и экстенсивной структуры — приобретали различную форму и оттенки, однако содержание их оставалось по существу тем же самым. Согласно одной из них, в природе нет абсолютно элементарных объектов, поскольку такие объекты не могли бы претерпевать никаких изменений и потому не могли бы быть обнаруженными, что представляется весьма невероятным*. При этом оставался бы также «мировой загадкой» вопрос о том, почему элементарный объект («праматерия») обладает именно такими, а не иными свойствами; для объяснения этого потребовалось бы перейти на какой-то более глубокий уровень, но допущение такого уровня в рамках идеи об абсолютной элементарности «последних» частичек выглядит очень непоследовательным.

Согласно другой концепции, допускалось существование сразу нескольких видов неизменных по своим внутренним свойствам элементарных объектов (простейших «кирпичиков»), каждый из которых тем не менее

зрения, лаконично выраженные в виде знаменитых апорий Зенона. Вместе с тем очень важно иметь в виду (на это не всегда обращается внимание), что атомизм Демокрита — это не просто умозрительное, чисто натурфилософское построение. Демокрит приводил экспериментальные обоснования своей теории: например, способность металлов расплываться — от прикосновений толп верующих «худеют» руки золотых статуй и стирается позолота [58]. Это изображение и в настоящее время выглядит весьма убедительным.

Интересно, что атомы Демокрита обладают неким первичным, неустранимым движением — свойством вибрировать, «трястись во всех направлениях». Существование таких «нулевых колебаний» всегда доказано квантовой физикой. Удивительно, насколько иногда древние были прозорливы в своих догадках.

* Еще Платон отмечал, что абсолютно элементарное тождественно «единому, которое есть все», но тогда «не существует ни имени, ни слова для него, ни знания о нем, ни чувственного его восприятия, ни мнения» [81, с. 428].

отличался от других. Взаимопревращения подобных объектов можно обнаружить, а отличие их свойств от свойств образованных из них сложных систем позволяет фиксировать их относительное движение.

Нетрудно видеть, что допущение таких элементарных объектов не противоречит, в частности, и тезису о «неисчерпаемости электрона», если эту неисчерпаемость понимать не в смысле неограниченного аддитивного деления, а в смысле наличия у каждого элементарного объекта неисчерпаемого количества внутренне неизменных свойств. Элементарная частица при таком подходе ассоциируется с безразмерной материальной точкой, наделенной бесконечным количеством характеризующих ее признаков: массой, зарядом, спином и т. д. А поскольку наряду с частицей, обладающей некоторым определенным признаком, можно допустить существование частицы, не имеющей данного признака, то число различных элементарных частиц становится, вообще говоря, необозримо большим. Трудно, конечно, примириться с мыслью о равной степени элементарности очень большого числа каких-либо объектов, однако в логическом плане такой подход вполне возможен*.

В различные периоды развития физики преимущество получала то концепция интенсивной, то концепция экстенсивной структуры мира. Однако эти концепции односторонни, и ни одна из них в отдельности не может отразить всех сложных, внутренне противоречивых аспектов структуры материи. В истории физики неоднократно возникали ситуации, когда казалось, что проблема элементарного близка к окончательному решению,

* Идея «бутстрапа» (шнуровки), согласно которой каждый элемент состоит из всех других элементов (см. § 11) и которая обычно рассматривается как одно из остроумных и неожиданных изобретений современных теоретиков, приходила, оказывается, в голову уже древним мыслителям. Об этом говорится, например, в буддийских текстах, написанных за несколько веков до нашей эры [93, с. 171].

но каждый раз новые экспериментальные факты вступали в противоречие с принятым на данном этапе понятием элементарности и требовали пересмотра физической картины мира.

Особенно острая критическая ситуация возникла на рубеже XIX и XX вв., когда выяснилось, что по крайней мере часть массы электрона связана с его электромагнитным полем, а в теоретических работах А. Пуанкаре и А. Эйнштейна было установлено взаимно-однозначное соответствие между массой и энергией. Значительная часть ученых, не различавших до этого понятий массы, вещества и материи, восприняли эти результаты как доказательство исчезновения материи, как «растворение» ее в электромагнитном поле и энергии. Отсюда делался вывод о крахе материалистической картины мира и экспериментальном доказательстве идеальной первососновы мира.

Этот вывод выходил далеко за рамки естествознания и активно использовался официальной буржуазной философией для дискредитации идейных, философских основ марксизма. Появилось большое число статей и книг, в которых утверждалось, что марксизм как философское учение безнадежно устарел и требует коренного пересмотра. Ситуация прояснилась после выхода в свет книги В. И. Ленина «Материализм и эмпириокритицизм», где был дан глубокий анализ мировоззренческих и методологических вопросов, выдвинутых быстро развивающимся естествознанием. В. И. Ленин показал, что корень возникших противоречий — в абсолютизации конкретных форм и качеств материи, в пренебрежении тем фактом, что все понятия и представления имеют относительный, изменяющийся в процессе своего развития характер. Краткой и образной формулировкой этих выводов явилось его знаменитое положение о «неисчерпаемости электрона».

Ленинское понимание элементарности представляет

собой единство онтологического и гносеологического аспектов. Онтологический аспект состоит в признании неограниченной сложности структуры, бесконечности свойств, связей, взаимодействий материального мира и его частей. Гносеологический аспект, включая признание принципиальной познаваемости внешнего мира, вместе с тем раскрывает ограниченный характер понятия элементарности как отражения определенных «вех», этапов познания.

Такой подход к проблеме элементарного преодолевает односторонность двух рассмотренных выше концепций интенсивной и экстенсивной структуры мира, синтезирует их в диалектическом единстве, в котором отдельное не существует иначе как в связи с общим, общее же существует лишь в отдельном и через отдельное [4, с. 318].

8. КАКОЙ ОБЪЕКТ МОЖНО НАЗВАТЬ «САМЫМ ЭЛЕМЕНТАРНЫМ»

На протяжении всей истории развития науки, независимо от того, принималась ли в качестве элементарного некая материальная субстанция или исходными элементами бытия считались некие чувственные «сущности» и «первичные идеи», — во всех случаях элементарное всегда понималось как то основное, неизменное и первичное, «из чего состоят все вещи, из чего как первого они возникают и во что как в последнее они, погибая, превращаются»; при этом элементарное представляет собой «предельные части, на которые делимы тела, в то время как сами эти части уже не делимы на другие, отличающиеся от них по виду... Но если они и делятся, то получаются одного с ними вида части» [10, с. 71, 148]. Можно считать, что это наиболее общее определение элементарного. (Гегель сжал его в очень лаконичную формулировку: абсолют или первоначальное суть «само

по себе сущее» [38, с. 160]*.) Однако такое элементарное, которое по самому своему смыслу не может «делиться по виду», не подвержено и никаким внутренним изменениям; оно как бы костенеет в данной своей сущности.

Согласно диалектическому материализму, одним из основных положений которого является обязательное признание всеобщности движения и видоизменения, любое элементарное следует понимать лишь как относительное, соответствующее вполне определенным условиям, вне которых оно становится неисчерпаемо сложным. Говоря словами Ф. Энгельса, «дискретные части различных ступеней (атомы эфира, химические атомы, массы небесные тела) являются различными *узловыми точками*, которые обуславливают различные *качественные* формы существования всеобщей материи» [1, с. 608—609]. Материя в своем самодвижении реализует бесконечную иерархию качественно различающихся уровней организации, хотя, как уже отмечалось, эту уходящую «в глубь материи» иерархию не следует понимать слишком буквально — в смысле обязательной делимости на все более и более мелкие «ультраэлементарные» части.

Нельзя не согласиться с В. И. Свидерским и А. С. Карминым, когда они подчеркивают, что «элементарные частицы... сложны и содержат в себе еще более глубокие уровни материи, природа которых пока неизвестна. Но ни принципы диалектического материализма, ни логика развития современной физики не дают никаких оснований для того, чтобы полагать, будто эти более глубокие уровни связаны с существованием каких-то «более элементарных частиц», чем известные нам ныне» [88, с. 197]. Существуют ли такие «суперэлементарные»

* С этим определением тесно связан критерий относительной простоты: один набор объектов считается более простым, чем другой, если объекты последнего можно составить из объектов первого, а наоборот — нельзя.

частицы — это вопрос конкретного научного исследования.

Однако в литературе довольно часто встречается понимание неисчерпаемости материальных объектов именно как свойства их неограниченной делимости. В качестве примера можно назвать известную книгу «Управление, информация, интеллект» [97]. По мнению одного из ее авторов, «следуя ленинскому тезису «электрон также *неисчерпаем*, как и атом»... можно сказать, что любой элемент материальной системы представляет в свою очередь также систему, состоящую из еще меньших элементов, и т. д.». Кажется маловероятным, что природа представляет собой неограниченно повторяющееся, последовательное измельчение своих частей. Эксперименты с элементарными частицами показывают, что возможны такие структуры, когда части частиц обладают такой же пространственной протяженностью и не менее сложны, чем состоящее из них целое. (Не говоря уже о том, что простая делимость может иметь предел, равный минимальному «кванту длины» Δx .) Объединение отдельных частей в целое — это не простое, механическое соединение или перемешивание, в котором каждый элемент сохраняет свою неизменную индивидуальность, а сложная, диалектически противоречивая связь, приводящая не только к количественным, но и к качественно новым объектам.

Иногда для обоснования бесконечной делимости материи указывают также на неограниченную делимость пространства, которая в свою очередь выводится как следствие двух положений: тезиса о всеобщности пространства, т. е. невозможности внепространственных форм материи, и утверждения о том, что неотъемлемым свойством пространства является его протяженность, которой по самому ее смыслу присуща делимость. Это рассуждение несостоятельно в основном пункте: протяженность представляет собой весьма специфически-кон-

кретное свойство пространства, которому нельзя придать статус универсальности [19].

В течение длительного времени за наименьший известный уровень организации материи принимались атомы химических элементов, хотя уже открытие Д. И. Менделеевым периодического закона наталкивало на мысль, что в природе должно быть что-то еще более элементарное, свойствами которого и объясняется этот закон. Первая элементарная частица была открыта Дж. Томсоном лишь в самом конце XIX в.* В начале нашего века опыты Э. Резерфорда обнаружили сложную структуру атома, а вскоре было установлено, что и ядро атома в свою очередь имеет сложное внутреннее строение. В начале 30-х годов были известны уже пять частиц, входящих в состав атома и его ядра или принимающих участие во внутриатомных взаимодействиях: фотон, электрон-позитронная пара, протон и нейтрон. К настоящему времени число таких частиц достигло уже несколько сот и продолжает быстро возрастать. Оказалось, что свойства этих субъядерных частиц не проще, а, наоборот, сложнее, чем у атома и его ядра. Некоторые частицы — это ультракороткоживущие, почти эфемерные образования с временем жизни, в течение которого частица успевает пролететь лишь расстояние, равное радиусу ядра; другие частицы оказались неожиданно очень тяжелыми, даже тяжелее некоторых атомов. Для описания частиц потребовались совершенно новые понятия: спин, гиперзаряд, барионное и лептонное числа и т. д. Эксперимент показал, что субъядерный уровень необычайно богат и разнообразен.

Помимо того что все открытые частицы участвуют

* Понятие электрона как неделимой далее единицы электрического заряда широко использовалось в физике и ранее. Однако электрон в то время рассматривался не как самостоятельная частица, а как одна из характеристик электрических свойств наименьшей порции вещества — атома.

в субъядерных взаимодействиях, они обладают еще одним общим свойством. Попытки выделить среди них какие-то «более элементарные» объекты, из которых можно было бы построить все остальные, окончились неудачей. Оказалось, что каждая такая частица состоит сразу из всех других. С точки зрения критерия относительной простоты эти частицы в равной степени элементарны. В целом совокупность субъядерных частиц, образно говоря, напоминает некую многомерную сферу, где нет ни первого, ни последнего элемента и где каждый элемент связан со всеми остальными.

Правда, недавние исследования внесли важную поправку в эту картину. Выяснилось, что среди субъядерных частиц имеются такие, которые следует рассматривать как возбужденные состояния других частиц. Так, семейство J/Ψ -частиц* представляет собой спектр («лестницу») возбужденных состояний, в котором высшие состояния переходят в низшие, с меньшими массами, путем распадов. Другим аналогичным примером является семейство ϵ -частиц, члены которого также связаны между собой цепочками последовательных распадов.

Если исключить возбужденные частицы-состояния, которые естественно считать более сложными объектами, чем соответствующие им основные, невозбужденные частицы-состояния, то даже в тех случаях, когда происходит распад частицы, нельзя говорить о том, что конечные частицы являются более элементарными, чем распавшаяся, а тем более утверждать, что конечные

* Эти частицы были одновременно открыты немецкими и американскими физиками, которые соответственно назвали их J - и Ψ -частицами. В настоящее время в физике общепринято «среднее» название: J/Ψ -частицы. Открыто уже восемь таких частиц. Подобно тому как это делается для возбужденных состояний атомов и молекул, члены J/Ψ -семейства характеризуются различными радиальными и орбитальными квантовыми числами.

частицы входили в состав исходной. Это было бы верно, если бы энергия связи (дефект масс) была значительно меньше масс участвующих в реакции частиц, а частицы-компоненты не теряли бы своей индивидуальности внутри образуемого ими целого, подобно тому, как это имеет место в атоме, в атомном ядре и во всех макроскопических объектах. В случае субъядерных частиц дефект масс всегда оказывается больше массы по крайней мере одной или даже нескольких частиц-компонент, а при виртуальных распадах зачастую значительно превосходит массу исходной, «материнской» частицы. Так, масса виртуальных частиц, образующихся при диссоциации π -мезона на пару нуклон + антинуклон, более чем на порядок превышает массу самого π -мезона. В этом отношении π -мезон радикально отличается, например, от дейтрона, дефект масс которого составляет всего лишь около одной тысячной от его массы и который поэтому действительно можно считать состоящим из протона и нейтрона, поскольку входящие в его состав протон и нейтрон остаются такими же частицами, как и в свободном состоянии, в то время как частицы-компоненты внутри π -мезона, образно говоря, почти «растворяются» в энергии их взаимодействия. Это обстоятельство и позволяет выделять класс частиц, которые принято сегодня называть элементарными.

Точнее говоря, к группе элементарных в настоящее время относят все частицы, которые нельзя рассматривать как возбужденные состояния других частиц и любые возможные распады которых, как реальные, так и виртуальные, происходят с дефектом масс, сравнимым по величине с массами распадных частиц. Например, виртуальный распад нуклона $N \rightarrow N + \pi$ происходит с дефектом масс порядка массы π -мезона: $\Delta m \sim m_\pi$; при распаде нейтрона $n \rightarrow p + e + \bar{\nu}$ дефект масс $\Delta m \approx 0,8 \text{ МэВ}$

в полтора раза превосходит массу электрона и т. д.*

Данное определение элементарности представляет собой критерий, вполне достаточный для однозначного выделения качественно нового уровня «элементарных объектов» из объектов, принадлежащих вышестоящим уровням организации материи. Этот критерий согласуется с общим положением о том, что структура более стабильная всегда выступает как структура более высокого порядка [75, с. 14]. Понятно, что, так же как и другие, ранее использовавшиеся определения элементарного (например, определение атомов химических элементов), это определение работает лишь «вверх» и недостаточно для того, чтобы «отсечь» более глубокие структурные уровни, — для этого потребуются сведения о специфических особенностях «нижних» уровней.

Нельзя согласиться с мнением Н. И. Степанова о том, что «критерий элементарности частиц, выраженный через дефект масс, становится совершенно неудовлетворительным, поскольку не позволяет надежно отделить уровень элементарных частиц не только от вышестоящего, но и от нижестоящего «субчастичного уровня», ибо нет никакой гарантии, что явление дефекта масс не будет наблюдаться также и на этом, более глубоком уровне» [93, с. 137].

То, что при отделении вышестоящего уровня критерий дефекта масс является весьма эффективным, хорошо видно на следующем примере. Недавно в экспериментах были получены данные о том, что в природе,

* Распад Λ -гиперона $\Lambda \rightarrow N + \pi$, казалось бы, связан с относительно небольшим дефектом масс $\Delta m \approx 1/3 m_\pi$, однако, согласно современным теоретическим представлениям о свойствах слабых взаимодействий, этот распад представляет собой сумму двух

процессов: четырехфермионного виртуального распада $\Lambda \rightarrow N + N + \bar{N}$ с очень большим дефектом масс и последующей аннигиляции нуклон-антинуклонной пары в π -мезон: $N + \bar{N} \rightarrow \pi$.

возможно, существует еще одно семейство тяжелых частиц, возникающих при объединении нуклонов с антинуклонами. Это короткоживущие образования, внешне очень похожие на тяжелые мезоны, рождающиеся при резонансных слияниях частиц. Однако из-за относительно малой величины дефекта масс вновь обнаруженные частицы нельзя отнести к разряду элементарных. Массы самых легких из них лишь на несколько процентов меньше суммы масс протона и антипротона, и это заставляет предполагать, что эти частицы представляют собой специфические квазиядерные системы, состоящие из сильно взаимодействующих, но еще не успевших слиться нуклона и антинуклона. В масштабе ядерных времен такие системы живут достаточно долго, прежде чем исчезают в результате их внутренней аннигиляции*.

Что касается применения критерия дефекта масс к нижестоящим уровням, то следует ожидать, что объекты «субчастичного уровня» действительно будут обладать не меньшим дефектом масс и что для их характеристики потребуются какие-то новые, более специфические признаки. Так, учет одного лишь дефекта масс становится недостаточным для кварков и глюонов, если подтвердится, что эти (пока еще в некоторой степени гипотетические) частицы действительно существуют в природе и являются более элементарными, чем другие. Не следует также забывать и о том, что дефект масс — это конкретное свойство, которого может и не быть на

* Экспериментальная информация пока еще недостаточна, для того чтобы можно было с уверенностью говорить об открытии нуклон-антинуклонных квазиядер. Многие физики рассматривают такие объекты лишь как гипотетические. Если нуклон-антинуклонные квазиядра действительно существуют в природе, то, как и обычные ядра, состоящие из протонов и нейтронов, они должны обладать возбужденными состояниями, переходы между которыми будут проявляться в виде серий характеристических γ -лучей. Обнаружение таких лучей на опыте явилось бы убедительным доказательством существования в природе еще одного типа ядерного вещества.

следующих, более глубоких ступенях структурной «лестницы».

В то же время трудно возразить Н. И. Степанову, когда он отмечает, что «многочисленные известные сегодня микрочастицы не потому являются элементарными, что не допускают «деления» ни по какому признаку, что они «наиболее просты», а потому, что в рамках со-временных представлений все они, несмотря на различие свойств, могут рассматриваться как принадлежащие к одному качественно-специфическому уровню, определяющему предметную область физики элементарных частиц» [93, с. 35]. Специфической особенностью этого уровня по сравнению со всеми вышестоящими как раз и является большой дефект масс, уничтожающий индивидуальность объединяющихся частиц.

В литературе иногда обсуждаются другие критерии установления «степени элементарности», которые, по мнению их авторов, являются более универсальными. Например, Б. Я. Пахомов предлагает считать более элементарной ту частицу, «с которой связано меньшее число качественно различных форм движения», и более сложной ту, «которая включает в себя большее число форм движения» [77, с. 112]. Развивая эту идею, П. М. Румянский приходит к выводу о том, что «более элементарными при этом будут частицы нейтрино и фотон, способные вступать только в одно взаимодействие... Нейтрино способен вступать в слабое, тогда как фотон — в электромагнитное взаимодействие. Более сложным... считается электрон, способный к вступлению как в слабое, так и в электромагнитное взаимодействие. Еще более сложные... π -мезоны...» [85, с. 81]. Однако подобный подход трудно провести последовательно, так как, согласно современным представлениям, при высоких энергиях частицы должны участвовать во всех типах взаимодействий — электромагнитном, сильном и слабом, различие которых при этом становится уже не

столь существенным, как при низких энергиях; если же не принимать во внимание всей области энергий, то пришлось бы, например, признать электрически нейтральную частицу π -мезон более элементарной, чем π^+ и π^- -мезоны, хотя эти частицы являются зарядовыми состояниями одного и того же изомюльטיפлета.

Иногда за критерий относительной элементарности предлагается брать число законов сохранения, которым подчиняется тот или иной объект. Так, по мнению А. А. Бутакова, более сложной элементарной частицей является та, которая подчиняется большему числу законов сохранения, поскольку более высокие формы движения связаны с большим количеством таких законов [27]. Поскольку каждый закон сохранения соответствует вполне определенной симметрии, то предлагаемый критерий означает, что объект тем элементарнее, чем меньшей симметрией он обладает. В действительности дело обстоит как раз наоборот: опыт науки показывает, что переход к более глубоким материальным структурам до сих пор всегда сопровождался открытием новых типов симметрий, которые «портятся» на уровне более высокоорганизованных форм движения и в лучшем случае становятся лишь грубоприближенными. В ядерной физике больше симметрий, чем в электродинамике.

Можно, конечно, обратить предлагаемый критерий и более элементарным считать объект, обладающий большей симметрией и подчиняющийся большему числу законов сохранения. К сожалению, симметрия частицы становится обычно ясной лишь после того, как удастся открыть и изучить на опыте целую группу аналогичных объектов. Поэтому рассматриваемый критерий не всегда удобен для практического использования, а главное, он имеет серьезный методологический изъян, поскольку фактически представляет собой гипотезу, справедливость которой может быть установлена лишь задним числом. (Ведь никто еще не доказал, что увеличение «степени

элементарности» объектов всегда будет сопровождаться увеличением их симметрии.)

Проблема элементарности особенно осложнилась после того, как было установлено, что элементарные частицы хотя и не делятся на простейшие в обычном геометрическом смысле и поэтому действительно должны рассматриваться как элементарные, но в то же время обладают пространственной протяженностью и сложной внутренней структурой. Элементарность и структурность оказались неразрывно слитыми в одном и том же объекте. Можно сказать, что каждый отдельный фрагмент структуры элементарной частицы несет информацию о частице в целом, а информация, скрытая в локальных деталях структуры, в свою очередь определяется свойствами объекта как целого.

Представления о бесструктурных элементарных частицах, частицах-точках, были широко распространены еще совсем недавно, 15—20 лет тому назад, несмотря на то что созданная сразу же вслед за матричной механикой квантовая теория волновых полей предсказывала (во всяком случае — качественно), что все объекты, в том числе и кванты физических полей — элементарные частицы, должны характеризоваться пространственно-протяженным распределением вещества. Весьма показательными в этом отношении являются утверждения, содержащиеся во втором издании (1948 г.) известного многотомного учебника Л. Д. Ландау и Е. М. Лившица: «Под элементарными частицами подразумевают частицы, которые во всех физических явлениях принимают участие только как целое, т. е. не имеет смысла говорить об их частях» [55, с. 34]. И далее: «Очевидно, что если элементарная частица обладала бы конечными размерами, то она не должна была бы быть деформируемой, так как понятие деформации связано с возможностью независимого движения отдельных частей тела... Мы приходим, таким образом, к весьма существенному ре-

зультату, что элементарные частицы не могут иметь конечных размеров, а должны рассматриваться как геометрические точки». (В последующих, переработанных изданиях учебника (например, 1973 г., с. 66) этот вывод относится уже только к чисто классическому описанию, не учитывающему квантовых эффектов.)

Другим примером может служить книга А. Марха «Физическое знание и его границы», где доказывалось, что принципиально нет никаких способов прямого экспериментального исследования пространственной протяженности микрочастиц, которая поэтому является чисто гипотетическим, противоречивым понятием и совершенно не нужна для теоретического описания микрообъектов [120, с. 102—105]. Образ пространственно-структурной и в то же время элементарной по своим свойствам частицы был осознан физиками далеко не сразу. Решающий перелом здесь произошел лишь в середине 50-х годов, т. е. после того, как Р. Хофштадтер экспериментально обнаружил пространственную «размазку» электрического заряда и магнитного момента протона.

Как мы увидим далее, следующий за атомными ядрами (более глубокий) уровень организации материи, который принято называть областью элементарных частиц, также нельзя считать элементарным. Хотя структурные единицы этого уровня и называются элементарными, это понятие в данном случае весьма условно. В действительности мы встречаемся здесь с еще одной «узловой точкой» в разветвляющейся перед нами перспективе качественно различающихся между собой форм материи. В настоящее время отчетливо проглядывается следующая «ступень» организации материи — область *суперэлементарных* частиц с ее специфическими структурными единицами — кварками и глюонами, а на горизонте знания, пока еще в виде теоретических гипотез и не до конца осознанных «экспериментальных намеков», начинается проступать еще более глубокий уровень

«преонов» — конститuentов суперэлементарных частиц. И, как подсказывает теория, все эти субъядерные объекты обладают пространственно-протяженной внутренней структурой.

К сложной и противоречивой проблеме структуры субъядерных частиц мы вернемся в § 10, так как прежде необходимо ознакомиться с современным состоянием систематики этих объектов.

9. СИСТЕМАТИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ. СУПЕРЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ

Основная трудность, которая возникает при определении понятия элементарной частицы, связана с тем, что в настоящее время таких частиц оказывается очень много — значительно больше, чем атомов химических элементов. Недавно были открыты частицы в 10 раз более тяжелые, чем протон, и приблизительно с такой же массой, как у ядра бора. Вполне возможно, что существуют и еще более массивные частицы. Список элементарных частиц становится просто необозримым. И это не считая разнообразных экзотических объектов, предсказываемых теоретиками, среди которых есть такие удивительные, как тахионы — частицы, которые рождаются и исчезают, всегда обладая скоростью большей, чем скорость света; магнитные монополи — частички магнитного заряда и, наконец, пожалуй, самые диковинные объекты, созданные фантазией человека, — фридмоны — галактики и целые космические миры, сжатые до размеров микроскопической частицы.

Отчаявшись выявить какую-либо иерархию в разрастающемся множестве равноэлементарных объектов, некоторые физики выдвинули идею бутстрапа («шнуровки», или «ядерной демократии»), согласно которой каждая элементарная частица состоит из всех других частиц (точнее, структура каждой элементарной частицы

определяется взаимодействиями всех других частиц. Однако эта идея не устраняет чувства неудовлетворенности из-за слишком большого числа «наипростейших сущностей». Последовательная формулировка идеи бутстрапа, напоминающая чем-то концепцию Демокрита, приводит к выводу о бесконечном числе элементарных объектов.

Согласно гипотезе бутстрапа, при объединении любых элементарных частиц образуется новая, в такой же степени элементарная частица (индивидуальность частиц-компонент полностью «стирается» большим эффектом масс), которая может использоваться для построения следующих частиц и т. д. Число элементарных частиц при этом возрастает экспоненциально. Расчет показывает, что, например, на интервал $\Delta M = 0,14 \text{ Гэв}$ (равный массе π -мезона) вблизи значения массы $M = 2,5 \text{ Гэв}$ должно приходиться около 10^4 различных элементарных частиц [113, 115]. Это означает, что если открывать по одной новой частице в день, то для полного исчерпания частиц только на таком малом участке ΔM потребуется приблизительно 100 лет. Вблизи $M = 5 \text{ Гэв}$ на интервале $\Delta M = 0,14 \text{ Гэв}$ должно находиться уже $\sim 10^8$ частиц с различными квантовыми числами. Трудно примириться с мыслью, что подобная структура может представлять собой «картину мира на самом простейшем уровне», тем более что аналогичная ситуация в истории физики была уже с атомами химических элементов. Ведь когда-то все они также считались в равной степени элементарными.

Структура микрообъектов в теории бутстрапа принимает относительный смысл — что-то вроде особой системы координат, которую можно выбрать различным образом [66, с. 140]. Определение элементов структуры становится весьма неоднозначным, так как одну и ту же частицу можно различными способами «составить» из других частиц. Более того, остается неясным, можно ли

вообще на этом пути сформулировать точную замкнутую систему уравнений, определяющую различные свойства в том числе и структуру элементарных частиц. Теоретиками анализировались лишь очень грубые модели бутстрапа, учитывающие взаимосвязь всего двух-трех сортов частиц, и, хотя в ряде случаев были получены обнадеживающие качественные результаты, попытки их уточнения сразу же наталкиваются на огромные трудности. Идея бутстрапа нельзя считать удовлетворительным решением проблемы «наипростейших элементов».

Значительно более плодотворным оказался путь объединения частиц в замкнутые группы (мультиплеты), члены каждой из которых могут трактоваться как различные состояния одной и той же частицы. Руководящим принципом при этом служит выявление симметрий в свойствах различных частиц. Такой «групповой подход», использующий хорошо разработанный математический аппарат теории групп, является дальнейшим развитием формализма зарядовых (изотопических) мультиплетов*. Все это очень похоже на то, что было в физике незадолго до открытия квантовых законов, когда среди многочисленных и, казалось, совершенно не связанных между собой спектральных линий излучения атомов угадывалась определенная симметрия термов Лаймона, Бальмера и т. п.

Большое значение имело открытие так называемой унитарной симметрии, позволившее объединить изотопические мультиплеты «обычных» и странных частиц в единые октеты и декаплеты. Учет спинов дал возможность построить еще более сложные семейства частиц: унитарные мультиплеты мезонов объединились в семейство, состоящее из 35 частиц («35-плет»), а октет и

* Примерами зарядовых мультиплетов являются триплет мезонов π^+ , π^- , π^0 , представляющий собой вектор в изотопическом пространстве, нуклон (изотопический спинор) — дублет, состоящий из протона и нейтрона, гиперонный триплет Σ^+ , Σ^- , Σ^0 и т. д.

декаплет барионов — в семейство из 56 элементарных частиц («56-плет»). Тем не менее число элементарных частиц продолжает оставаться еще очень большим. Попытки усложнения мультиплетов с учетом античастиц и более высоких спиновых состояний пока не привели к успеху.

Дальнейшая разработка систематики частиц связана с идеей кварков. Выяснилось, что отдельные унитарные мультиплеты не являются совершенно изолированными друг от друга, а связаны строгими правилами симметрии. И самым поразительным было то, что эти правила предсказывали существование частиц с дробными электрическими зарядами — кварков. Вот эти-то частицы на современном уровне развития науки действительно можно считать «самыми элементарными», потому что из них могут быть построены все сильно взаимодействующие частицы — иногда «простым сложением», как атомные ядра из протонов и нейтронов, а иногда рассматривая их как возбужденные состояния уже построенных частиц, — и в то же время сами кварки нельзя построить из других элементарных частиц. В этом смысле кварки существенно отличаются от всех других частиц, среди которых, как уже отмечалось, невозможно выделить какие-либо более элементарные «строительные элементы». Кварки можно рассматривать как следующий, более глубокий, «суперэлементарный» уровень организации материи и с точки зрения величины дефекта масс, т. е. плотности их упаковки внутри протонов, мезонов и других «менее элементарных» объектов.

С позиции теории кварков структурный уровень элементарных частиц — это область объектов, состоящих из кварков и антикварков и характеризующихся большим дефектом масс в отношении любых их распадов и виртуальных диссоциаций. Вместе с тем, хотя кварк и является «самой простейшей» известной сегодня частицей, он обладает очень сложными свойствами. От всех других известных нам частиц кварк отличается не только дроб-

ным электрическим зарядом, но и дробным барионным числом. Среди других элементарных частиц он выглядит неким кентавром: по своим свойствам он одновременно и мезон, и барион. С таким необычным и противоречивым объектом физики еще не встречались.

Первоначально считалось, что кварк имеет три состояния: два из них различаются лишь величиной электрического заряда, а в третьем состоянии кварк проявляется как странная частица. Однако после открытия семейства «шармированных» (очарованных) частиц к трем состояниям кварка пришлось добавить четвертое, характеризующееся новым квантовым числом — «шармом». Но и этим дело не закончилось. На самом большом в мире ускорителе протонов в Батавии, близ Чикаго, была обнаружена новая удивительная частица — ϵ -мезон. Его масса значительно превосходит массу нуклона, а свойства таковы, что его приходится рассматривать как слившиеся кварк и антикварк. При этом приходится допустить, что кварк и антикварк обладают еще одним, пятым по счету состоянием. Для квантового числа, характеризующего это состояние, еще нет даже общепринятого названия (чаще всего его называют «прелестью кварка» или соответствующим английским термином «бьюти»). Пять квантовых степеней свободы кварка принято называть его «ароматом» (некоторые авторы предпочитают говорить о пяти «степенях вкуса кварка»).

Но и этим не исчерпывается перечень свойств кварка. Анализ экспериментальных данных привел к выводу, что каждый из пяти «ароматов» («вкусов») кварка имеет три «цвета», т. е. каждое из пяти состояний кварка расщеплено еще на три независимых состояния, характеризующихся величиной специфического квантового числа — «цвета»*. «Цвет» кварка изменяется при испускании

* Понятно, что широко используемые в физических журналах термины «вкус», «запах», «аромат», «цвет» кварков — это всего лишь условные и легко запоминающиеся в силу их необычности

или поглощении им глюона — кванта промежуточного поля, «склеивающего» кварки и антикварки в мезоны и барионы. (Можно сказать, что глюонное поле — это «поле цвета», его кванты переносят «цвет». Термин «глюоны» происходит от английского слова glue — клей.)

Таким образом, кварк в настоящее время рассматривается как 15-компонентный мультиплет. И неизвестно, будет ли и далее увеличиваться число его состояний. Как мы увидим в § 12, имеются серьезные основания ожидать открытия шестого («ароматного») состояния кварка и, возможно, его четвертого («цветного») состояния. Раздел физики элементарных частиц, исследующий «цветные» (глюонные) взаимодействия кварков, получил название квантовой хромодинамики. «Цвет» в этой науке играет такую же роль, какую играет электрический заряд в квантовой электродинамике, изучающей фотонные взаимодействия частиц.

В настоящее время идея суперэлементарных частиц — кварков буквально пронизывает физику высоких энергий. С их помощью объясняется так много экспериментальных данных, что физику просто невозможно обойтись без этих удивительных частиц, так же как, напри-

термины, которые не имеют ничего общего с соответствующими микроскопическими свойствами.

Впервые «цветные» степени свободы кварка были введены для того, чтобы не нарушался принцип Паули при слиянии кварков в барионы. Обладая полуцелым спином, кварки должны подчиняться принципу Паули, согласно которому в определенном состоянии не может быть более одной фермионной частицы с одинаковыми квантовыми числами. Это один из основных законов квантовой теории, проверенный на огромном количестве экспериментальных данных. Однако, например, входящую в состав барионного декаплета частицу Δ^{++} со спином $+\frac{3}{2}$ и электрическим зарядом $+2$ можно построить лишь из трех кварков с одинаковыми квантовыми числами. Противоречие устраняется, если кварку приписать еще одно квантовое число. В этом случае частица Δ^{++} будет состоять из трех кварков различного «цвета».

Впервые идея о цветных кварках была высказана советскими физиками Н. Н. Боголюбовым, А. Н. Тавхелидзе и их сотрудниками.

мер, химику — без атомов и молекул. По мнению большинства физиков, если кварки не существуют в природе как реальные объекты, то это само по себе являлось бы поразительной загадкой.

И вместе с тем кварки никогда не наблюдались в «чистом виде», хотя, с тех пор как они были введены в теорию, прошло почти два десятилетия. Все многочисленные попытки обнаружить кварки или глюоны в свободном состоянии неизменно заканчиваются неудачей*. Строго говоря, глюоны и кварки остаются пока хотя и очень вероятными, но все же гипотетическими объектами.

Это обстоятельство является несколько обескураживающим. В чем же здесь дело? В неумении поставить нужный эксперимент или, может быть, в том, что элементарную частицу нельзя разделить на кварки, как, например, нельзя разделить магнит на два несвязанных магнитных заряда — «северный» и «южный»? Второе большинству физиков представляется в настоящее время более похожим на правду. Подавляющая часть физиков склонна считать, что свободных, изолированных глюонов и кварков в природе вообще не существует: они наглухо «заперты» внутри элементарных частиц. Такое необычное поведение суперэлементарных частиц связано с особенностями «цветовых» (глюонных) сил взаимодействия и находит свое объяснение в квантовой хромодинамике, хотя очень многое здесь еще не ясно.

* Недавно появилось сообщение о том, что в Стенфордском университете (США) удалось обнаружить положительный и отрицательный электрические заряды, равные трети заряда электрона. Для этого изучалось движение очень маленьких частичек ниобия в электромагнитном поле. Если такие частички обладают полной сферической симметрией, то их движение зависит только от величины их заряда. В том, что частички круглые, можно убедиться с помощью микроскопа; значительно труднее доказать, что у них нет внутренних неоднородностей. Поэтому интерпретация опыта еще неоднозначна, и в целом доводов «против» кварков в этом эксперименте пока еще больше, чем «за».

В том, что кварки и глюоны — это физические объекты, а не просто удобный феноменологический способ описания на привычном для нас корпускулярном языке каких-то еще непонятных аспектов структуры элементарных частиц, убеждают косвенные опыты. Прежде всего это эксперименты по «зондированию» протонов и нейтронов с помощью очень быстрых электронов и нейтрино, когда налетающая частица рассеивается (отскакивает), сталкиваясь с одним из находящихся внутри частицы-мишени кварков (подробнее об этом речь пойдет в следующем параграфе в связи с обсуждением внутреннего строения нуклона).

Очень наглядными являются также эксперименты по измерению вероятностей рождения сильно взаимодействующих частиц — адронов и пары μ -мезонов (μ^+ и μ^-) при аннигиляции электрона и позитрона. С помощью квантовой хромодинамики можно показать, что отношение вероятностей этих двух процессов в точности равно сумме квадратов электрических зарядов «цветных» кварков, которые обязательно должны присутствовать на промежуточной стадии рождения адронов*. Экспериментально установленное отношение вероятностей оказывается очень близким к тому значению, которое должно получиться, если кварки имеют дробные заряды и три различных «цвета». При увеличении энергии аннигилирующей электрон-позитронной пары становится возможным образование промежуточных («очарованного»

* При аннигиляции вся энергия и масса электрон-позитронной пары переходят в электромагнитное поле, которое в свою очередь очень быстро трансформируется либо в μ -мезоны, либо в кварки. Мезоны вылетают из области взаимодействия и регистрируются детекторами. Кварки, обладая большими скоростями (энергия аннигилировавших электрона и позитрона достаточно велика), не могут покинуть области взаимодействия, поэтому за счет их массы и энергии происходит «кристаллизация» адронных частиц, которые затем разлетаются на макроскопические расстояния и фиксируются детектирующей системой.

и «прелестного») кварков, масса которых больше, чем у трех других состояний кварка, и величина отношения вероятностей должна возрасти. Этот эффект также наблюдается в эксперименте.

Адроны, рождающиеся при аннигиляции высокоэнергетических электрона и позитрона, иногда вылетают в виде узкоколлимированных пучков частиц, и весь процесс приобретает характер испускания нескольких адронных «струй». Согласно квантовой хромодинамике, такие струи возникают в результате перехода в энергию адронного вещества энергии глюонов, которые были испущены кварками на промежуточных этапах реакции, но, как и кварки, не смогли вылететь за пределы области взаимодействия. Образование адронных струй в настоящее время рассматривается в качестве одного из основных косвенных доказательств существования глюонов.

С учетом кварков список сильно взаимодействующих суперэлементарных частиц сведется к трем частицам: кварку, антикварку и связывающему их глюону. К ним следует добавить еще приблизительно десяток «наипростейших частиц» других типов, структура которых пока еще не проявляется в эксперименте: квант электромагнитного поля — фотон, уверенно предсказываемый теоретиками гравитон и семейство лептонов. До сих пор считалось, что это семейство состоит из восьми частиц: электрона, μ -мезона, двух типов нейтрино и соответствующих античастиц. Однако, после того как были открыты тяжелые лептонные частицы — τ -лептон с массой, равной двум массам протона, и очень тяжелый лептон (приблизительно в 10 раз тяжелее протона), — нельзя исключить существование целого семейства очень тяжелых лептонов. Поиск таких лептонов в настоящее время — одна из самых «горячих точек» физики элементарных частиц.

Итак, если не принимать во внимание предположи-

тельных лептонов с большими массами и некоторыми числами «экзотических частиц», предсказываемых различными теоретическими моделями, обоснованность которых во многом еще проблематична, то имеется около полутора десятков объектов, которые в современной теории не сводятся к другим элементарным частицам и поэтому могут рассматриваться как суперэлементарные. Сложность закономерностей физики сильных взаимодействий, многообразие различных эффектов, с которыми мы здесь встречаемся, обусловлены не столько сложностью основных законов сильных взаимодействий, сколько сложностью изучаемых объектов.

По-видимому, именно такой неэлементарностью взаимодействий известных нам сейчас частиц обусловлены трудности построения последовательной теории взаимодействий мезонов и барионов. Если это так, то теория для ультрамалых расстояний Δx будет построена раньше, чем для $\Delta x \sim 10^{-14} - 10^{-13}$ см, подобно тому как квантовые законы взаимодействия микрочастиц были поняты раньше, чем создана теория более сложных и значительно больших по размерам объектов — многоэлектронных атомов и молекул. Физики все более убеждаются в том, что последовательной теорией для описания сильных взаимодействий в области ультрамалых масштабов является квантовая хромодинамика. В тех случаях, когда предсказания этой теории удается проверить экспериментально (как правило, опыты здесь очень сложны, поэтому и измерений выполнено еще немного), результаты удивительно хорошо подтверждают расчеты.

Теперь, после того как мы познакомились с важными для дальнейшего изложения свойствами «наипростейших микрообъектов» — глюонов и кварков, вернемся к рассмотрению структуры элементарных частиц — одной из наиболее интересных и в то же время наиболее трудных проблем современной науки. Ее решение тесно связано с такими важнейшими вопросами современной физики и

философии, как соотношение простого и сложного, непрерывность и дискретность микроскопического пространства-времени, возможность «вневременных» и «внепространственных» форм существования материи и т. д. Можно сказать, что в настоящее время в проблеме структуры микрообъектов сфокусированы все основные трудности и противоречия физики микромира.

10. СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О СТРУКТУРЕ СУБЪЯДЕРНЫХ ЧАСТИЦ

Мысль о том, что электрон, протон и другие элементарные частицы обладают протяженной структурой (еще недавно она критиковалась некоторыми теоретиками), имеет давнюю историю. Как известно, в начале XX в. большую популярность приобрели утверждения о том, что «физика доказала исчезновение материи, что материя сводится к электричеству». Эти сенсационные утверждения были основаны на неправомерном отождествлении массы и энергии. К тому же они были некорректны и с математической точки зрения, поскольку величина электромагнитной массы электрона, которая следовала из формул электронной теории, оказывалась бесконечно большой. Значение массы, которое наблюдалось в опыте, или вообще какое-либо конечное значение массы можно было получить лишь при условии, что электрон имеет отличные от нуля пространственные размеры, но все попытки построить электромагнитную теорию протяженных электронов сразу же приходили в противоречие с требованиями теории относительности: скорости сигналов в такой теории неизменно оказывались больше скорости света. Поэтому говорить об электромагнитном происхождении массы частиц можно было, лишь закрыв глаза на связанные с этим вопиющие физические противоречия [16, 21].

Трудности сохранились и в квантовой теории. Все ста-

рания физиков построить релятивистски-инвариантную теорию протяженных частиц или же каким-либо последовательным образом локализовать сверхсветовые скорости сигналов лишь в малых пространственно-временных областях не привели к успеху. Наиболее обстоятельно эти трудности изучались в так называемых нелокальных теориях. В настоящее время известно большое количество таких теорий; общим для них является то, что всегда тем или иным путем (этим определяется конкретный вариант теории) в нее вводится элементарная длина l , определяющая масштаб области пространства-времени ($\Delta x \leq l$, $\Delta t \leq l/c$, где c — скорость света), в которой могут распространяться сверхсветовые сигналы (так называемая область нелокальности).

Введение элементарной длины оказывается чрезвычайно критичным для современной теории; возникающие при этом трудности пронизывают буквально все ее аспекты. Особую трудность для нелокальных теорий представляет формулировка условий, которые должны гарантировать сохранение макроскопической причинности (т. е. причинности в областях $\Delta x \gg l$, $\Delta t \gg l/c$), если нарушена микропричинность [19].

Как было показано в работах ряда авторов, нелокальную теорию можно сформулировать в таком виде, что большая часть трудностей отпадет или смягчится. Оказывается, многие из них не имеют принципиального характера, а появляются в результате слишком прямолинейного обобщения аппарата локальной теории точечных частиц. Эквивалентные друг другу формулировки локальной теории совершенно неравноценны с точки зрения возможности их нелокального обобщения. Именно с неудачным выбором исходной локальной формулировки как раз и связано происхождение ряда трудностей нелокальных теорий.

Тем не менее даже наиболее удачные с методической точки зрения варианты нелокальных теорий остаются

все же на уровне математических моделей: в них нет предсказаний каких-либо существенно новых физических явлений. Это связано с тем обстоятельством, что экспериментально пока не получено никаких данных, свидетельствующих о существовании нелокальных эффектов, поэтому нелокальные теории строятся таким образом, чтобы во всей доступной современному эксперименту области они совпадали с обычной локальной теорией. Только этим и определяется величина постоянной l . В сущности известные нам нелокальные теории — это исследование некоторых новых математических форм со старым физическим содержанием.

Некоторые физики пытались ввести в теорию пространственную протяженность квантов поля, учитывая сложные нелинейные эффекты самовоздействия поля, путем квантования четырехмерного пространства-времени, в которое «погружено» поле, и многими другими способами [подробнее см. 19]. Однако все эти попытки окончились неудачей. Из анализа трудностей современной теории поля складывается впечатление, что для их устранения требуются какие-то существенно новые подходы, связанные с переосмысливанием самых основных ее понятий — понятий поля, частицы, пространства-времени и т. п.

Вместе с тем современная квантовая теория предсказывает — и это хорошо подтверждается экспериментом, — что элементарные частицы все же имеют пространственные размеры, однако не в том смысле, как об этом говорилось выше. Свободная, невзаимодействующая частица — это всего лишь математическая абстракция; реальные физические частицы всегда взаимодействуют с вакуумными полями, испуская и поглощая виртуальные частицы*. Вследствие этого вокруг каждой

* По своим физическим свойствам испускаемые и поглощаемые частицы не отличаются от «обычных», известных нам элементарных частиц. Виртуальными их называют для того, чтобы подчеркнуть

частицы образуется «облако» виртуальных частиц с размерами, которые можно оценить с помощью квантового соотношения неопределенностей: $\Delta x \sim \hbar / \Delta p \sim \hbar / mc$, где m — масса виртуальной частицы, а Δp — соответствующее изменение импульса «материнской» частицы (с — скорость света). Размеры этого «облака» тем больше, чем меньше масса испускаемых частиц. В случае испускания самой легкой ядерной частицы — π -мезона $\Delta x \approx 1,4 \cdot 10^{-13}$ см, при испускании K -мезона — $\Delta x \approx 3 \cdot 10^{-14}$ см и т. д.

Продолжительность отдельных актов виртуальной диссоциации частицы (ее «миганий») очень мала: при испускании π -мезонов она около $5 \cdot 10^{-24}$ сек, а для других частиц еще меньше. Однако благодаря многократным их повторениям возникает некоторая постоянная усредненная по времени релятивистски-инвариантная структура — «размазка» их электрического заряда, магнитного момента, массы, которая становится все более и более сложной и плотной к центру частицы*. В этом смысле можно сказать, что элементарная частица состоит из плотного центрального ядра — ядра и рыхлой периферической оболочки**.

сугубо квантовый характер явления, которое с классической точки зрения выглядит так, как если бы при этом происходило нарушение закона сохранения энергии (например, мезон может испустить протон и антипротон, масса которых в полтора десятка раз больше массы самого мезона). У неспециалистов это часто вызывает недоумение. В действительности же никакого нарушения законов сохранения здесь нет, так как энергия квантовой частицы, находящейся в объеме V , имеет некоторую неопределенность, которая тем больше, чем меньше величина объема V . Эта неопределенность как раз и компенсирует кажущееся несохранение энергии [подробнее см. 19].

* На малых расстояниях Δx вблизи центра частицы возможно образование тяжелых виртуальных частиц и многомезонных комплексов, масса которых ($m \sim \hbar c / \Delta x$) возрастает по мере уменьшения Δx .

** Понятие ядра впервые ввел Д. И. Блохинцев в связи с анализом опытов по упругому рассеянию протонов на протонах.

Элементарные частицы представляются нам сегодня чрезвычайно сложными образованиями, структура которых весьма прихотливым образом зависит от интерференции облаков различных виртуальных частиц. Эта структура и проявляется при взаимодействии частицы с электромагнитным полем и с другими частицами. Важно подчеркнуть, что, хотя учет виртуальных взаимодействий с вакуумными полями и приводит к пространственной «размазке» частицы, теория остается существенно локальной и по-прежнему содержит расходящиеся выражения. Скорость распространения взаимодействий в виртуальном «облаке» частицы не превосходит скорости света, поэтому частица представляет собой динамически деформируемое, «мягкое» образование, изменяющее свою форму под действием внешних полей.

Замечательным и принципиально новым обстоятельством является то, что в структуре микрообъекта оказываются слитыми воедино динамический и реализующийся посредством него статистический аспекты. Вероятностный характер микроструктур составляет их характерную черту. В этом смысле строение микрочастиц принципиально отличается от строения атомных ядер и всех макроскопических тел. Определенность, упорядоченность микроструктур реализуются посредством происходящих в них вероятностных явлений. Именно благодаря вероятностным законам становится возможным испускание виртуальных частиц без нарушения законов сохранения энергии-импульса.

Физика пока не располагает методами, которые позволяли бы рассчитывать сильные взаимодействия частиц (в отличие от электромагнитных и слабых взаимодействий, где вероятности различных процессов можно вычислять, используя разложения в ряд по степеням малой постоянной взаимодействия). Уравнения с участием силь-

Из этого анализа следовало, что небольшая часть в центре протона ведет себя в процессе рассеяния как очень плотный «шарик».

ных взаимодействий таким путем не решаются. Для их описания пользуются различными моделями. Конечно, все модели являются ограниченными и применяются для описания лишь определенных сторон исследуемых объектов, поэтому иногда они кажутся даже противоречащими друг другу. Однако метод моделей — это пока единственный путь, для того чтобы понять и осмыслить быстро увеличивающийся поток экспериментальной информации.

Мы не будем останавливаться на всех используемых сегодня моделях, а лишь кратко рассмотрим основные из них.

Прежде всего следует отметить, что современные представления о строении элементарных частиц значительно сложнее простой, наивно-качественной модели мезонных «облаков». Из этой модели следует, что протон представляет собой нейтральный керн, окруженный «облаком» положительных π -мезонов, а нейтрон, наоборот, положительно заряженный керн внутри такого же «облака», но только отрицательных π -мезонов. Однако первые же эксперименты по «просвечиванию» нейтрона пучком быстрых электронов неожиданно показали, что на далекой периферии, где модель мезонных «облаков» казалось бы, лучше всего применима, заряды «облаков» в протоне и нейтроне одинаковы. Это долгое время оставалось загадочным — до тех пор, пока не были открыты сильные резонансные взаимодействия между мезонами, которые при взаимодействии с рассеивающимся электроном приводят, образно говоря, к «слипанию» мезонов в пары и тройки. Такая сложная резонансная структура и определяет свойства протона и нейтрона на их периферии.

В настоящее время мы можем сказать, что вещество внутри протона и нейтрона распределено в области с радиусом, приблизительно равным $1,5 \cdot 10^{-13}$ см. Это в сто тысяч раз меньше размеров атома водорода, но всего лишь в несколько раз меньше радиуса среднего атома

ядра. Как видно, нуклон — это весьма крупный объект. В той же области ($\sim 1,5 \cdot 10^{-13}$ см) «размазаны» электрический заряд и магнитный момент этой частицы. При этом внутри нейтрона «облака» разноименно заряженных частиц распределены таким образом, что их заряды в среднем практически полностью нейтрализуют друг друга. Электрическая симметрия нейтрона нарушается лишь в очень сильных электромагнитных полях, которые деформируют «облака» положительных и отрицательных зарядов, несколько смещают одно «облако» относительно другого, что можно наблюдать в очень точных экспериментах.

Плотность вещества в нуклоне, его электрический заряд и величина магнитного момента возрастают при приближении к центру и сконцентрированы в основном в керне нуклона. Свойства этого керна пока еще мало изучены. Современные методы позволяют достаточно надежно исследовать периферию нуклона; что же касается его керна, то, несмотря на то что построенные ускорители дают уже возможность «прощупать» структурные детали вплоть до масштабов $\Delta x \sim 5 \cdot 10^{-16}$ см, анализ и интерпретация результатов таких экспериментов очень сложны и весьма неопределенны (см. § 11). Поэтому строение центральных областей нуклона по-прежнему остается загадочным «белым пятном». Даже само понятие керна определяется сейчас весьма неоднозначно.

Часто керном называют область, где становятся существенными многомезонные взаимодействия. Размеры такой области составляют около $5 \cdot 10^{-14}$ см. Иногда керном называют ту часть нуклона, которая ответственна за основные его свойства — спин, барионное число, гиперзаряд. Радиус такого керна по порядку величины, по-видимому, близок к комптоновской длине волны нуклона $\hbar/Mc \simeq 2 \cdot 10^{-14}$ см, и поэтому можно предполагать, что понимаемый таким образом керн образован «облаком» тяжелых виртуальных частиц — нуклонов, ги-

перонов и соответствующих античастиц. В частности, опыт показывает, что процесс аннигиляции нуклона происходит при соприкосновении именно таких центральных частей нуклона и антинуклона. Вероятность аннигиляции резко возрастает, если частицы пролетают на расстояниях, меньших суммы радиусов ядер нуклона и антинуклона ($\Delta x \simeq 2 \div 10^{-14}$ см).

Столкновение относительно массивных ядер частиц сопровождается значительным энерговыделением, рождением большого числа вторичных частиц. Наоборот, при столкновении периферических областей частиц или при столкновении ядер — периферия выделяется существенно меньшее количество энергии и, следовательно, рождается меньшее число вторичных частиц. В этом случае ядра первичных сталкивающихся частиц испытывают сравнительно небольшую отдачу и лишь незначительно изменяют направление своего движения. Соответственно двум типам столкновений в эксперименте наблюдаются два типа сильно различающихся по своим свойствам неупругих взаимодействий: один тип характеризуется значительно большей множественностью рождающихся частиц и почти изотропным вылетом, чем другой тип; величина импульса, передаваемого нуклону, в первом случае оказывается намного большей, чем во втором.

В отличие от атома, где пространственные размеры отдельных частей структуры — ядра и электронной оболочки — различаются на пять порядков, для внутреннего строения нуклонов характерно отсутствие резко обособленных деталей; различные пространственные части структуры здесь почти непрерывно переходят друг в друга.

Разреженный мезонный «шлейф» в нуклоне можно проследить вплоть до расстояний $\Delta x \simeq 2 \div 2,5 \cdot 10^{-13}$ см. На этих больших расстояниях вокруг центра нуклона располагается диффузное «облако» электронно-позитронных

пар с характерным размером, приблизительно в 150 раз большим размера мезонного «облака»; однако из-за слабости электромагнитных взаимодействий (отношение электромагнитной и ядерной постоянных связи $e^2/g^2 \sim 5 \cdot 10^{-4}$) плотность этого «облака» ничтожна и оно проявляется лишь при весьма специфических условиях.

В ультрамалых областях $\Delta x \leq 10^{-16} - 10^{-17}$ см следует ожидать существенного влияния слабых взаимодействий, вероятность которых на этих расстояниях сравнима с вероятностями других типов взаимодействий. И наконец, можно предполагать, что в самой глубине нуклона, где-то на расстояниях $\sim 10^{-32} - 10^{-33}$ см, резко возрастает роль гравитационных эффектов. Не исключено, что в этой области «спрятана» сильно заэкранированная плотными облаками виртуальных частиц микроскопическая «черная дыра». Хотя такое предположение выглядит довольно фантастическим, оно подсказывается экстраполяцией некоторых известных физических закономерностей на область очень малых масштабов (подробнее об этом речь пойдет в § 14).

Наглядное представление о структуре частиц как о наложении различных «виртуальных оболочек» позволяет в общих чертах понять многие качественные особенности этой структуры, однако реальная физическая картина, видимо, гораздо сложнее. Приближенный характер простой оболочечной модели стал особенно очевидным после того, как были выполнены опыты по упругому рассеянию электронов и нейтрино на очень большие углы, близкие к 180° (т. е. исследовались резкие отскоки электронов и нейтрино от протонов и нейтронов в направлении, обратном движению налетающих частиц; об этих опытах упоминалось в предыдущем параграфе).

Если бы нуклон представлял собой монолитную, сильно связанную систему, то импульс, отскочивший от него в обратном направлении, давал бы сведения о движении нуклона как целого. На опыте же наблюдается

совершенно иная картина — такая, как если бы нуклон состоял из отдельных весьма тяжелых и очень мелких, практически точечных частичек (их размер по крайней мере раз в 10 меньше размеров протона и нейтрона), то электрон или нейтрино каждый раз отскакивали бы от какой-то одной из таких внутренних частичек. В распределении импульсов рассеявшихся назад электронов и нейтрино наблюдается характерное размытие, отражающее распределение скоростей частичек, входящих в состав нуклона. По предложению известного американского физика Р. Фейнмана, первым теоретически изучавшим это явление, такие частички — конститuenty нуклона — стали называть партонами (от английского слова part — часть).

Вывод о существовании внутри протона и нейтрона практически точечных частиц-партонов следовал также из опытов с так называемым глубоко неупругим рассеянием электронов, когда под действием высокоэнергетической налетающей частицы, взаимодействие которой с протоном происходит во внутренней области с размерами $\Delta x \sim \lambda \ll 10^{-13}$ см, рождается большое число мезонов. Закономерности, проявляющиеся в этих экспериментах, удалось объяснить лишь с помощью гипотезы партонов.

Эти совершенно неожиданные для физиков и казавшиеся сначала очень странными результаты хорошо согласуются с предположением о том, что все сильно взаимодействующие частицы имеют «зернистое» строение и состоят из кварков и антикварков: мезоны — из «слипшихся» кварка и антикварка, а барионы — из трех «слипшихся» кварков. Такое «слипание» может происходить в различных состояниях (некоторые из них могут быть даже очень короткоживущими возбужденными состояниями, как это имеет место, например, в случае уже упоминавшихся J/ψ -частиц), и это определяет весь спектр наблюдаемых частиц.

Характеристики партонов, получаемые из опытов с рассеянием электронов и нейтрино на нуклонах, в точности совпадают с тем, что предсказывается теорией кварков: число партонов равно трем, их электрический заряд — дробный и равен $1/3$ и $2/3$ заряда электрона, спин — полуцелый, т. е. такой же, как у электрона и нуклона. Вместе с тем одних только партонов-кварков недостаточно для объяснения эксперимента. При этом оказывается нарушенным баланс энергии: с каждым из трех партонов-кварков связано только около $1/6$ суммарной энергии, т. е. в целом на партоны приходится лишь половина энергии нуклона, вторая половина связана с чем-то другим. Аналогичная трудность возникает и в отношении углового момента.

Противоречия устраняются, если принять во внимание, что кроме партонов-кварков в нуклоне должны присутствовать еще и партоны-глюоны, которые, однако, не участвуют ни в электромагнитном, ни в слабом взаимодействии и поэтому непосредственно в опытах с рассеянием электронов и нейтрино не проявляются. Но с ними связана приблизительно половина всей энергии нуклона и недостающая часть углового момента*.

О свойствах глюонов известно уже довольно много. В квантовой хромодинамике, которая считается наиболее перспективной теорией для описания сильных взаимодействий, глюоны — это безмассовые частицы, подобные фотону. Как и фотон, они обладают равным единиче спин, и, следовательно, поле глюонов имеет две компоненты, одна из которых аналогична электрическому, а вторая — магнитному полю. Семейство (мультиплет) глюонов состоит из восьми компонент, каждая из которых имеет два спиновых состояния.

* Трудности, с которыми встретилась гипотеза партонов-кварков, исторически как раз и явились основанием для возникновения гипотезы о существовании очень сильного поля, «склеивающего» кварки внутри нуклона.

Специфической особенностью глюонного поля является его сильная нелинейность; глюоны сами, независимо от кварков, могут создавать вокруг себя новое сильное глюонное поле. Поэтому глюонное поле не ослабевает, как это происходит, например, с электромагнитным полем вокруг электрона, а, наоборот, возрастает при удалении от порождающего его кварка. А это означает, что кварки слабее всего связаны, когда они находятся на малых расстояниях друг от друга. Если же кварки начинают расходиться, то сразу же возрастают стягивающие их силы. Это похоже на то, как если бы кварки были связаны эластичными резиновыми нитями. На малых расстояниях, в центральных областях частицы, кварки ведут себя как свободные, почти не связанные взаимодействием объекты; если же кварки расходятся на большие расстояния и попадают на периферию частицы, то на них начинают действовать очень большие силы, возвращающие их к центру. То же самое происходит и с глюонами, которые благодаря нелинейности глюонного поля взаимодействуют между собой. Возникает своеобразный механизм удержания субэлементарных частиц, и это может быть главной причиной того, почему в экспериментах до сих пор не удалось наблюдать свободные глюоны и кварки.

Необычный характер глюонных сил объясняет также то, почему анализ физических явлений часто приводит к совершенно различным выводам о величине массы кварков: в одних случаях их считают частицами, которые даже легче мезонов, в других случаях, наоборот, допускают, что масса кварка значительно превосходит массу нуклона. Дело в том, что масса кварка зависит от его местоположения внутри частицы. В глубинных (внутренних) областях кварки имеют минимальную собственную массу — такую, какой они обладали бы, если бы их можно было рассматривать сами по себе, без учета их глюонной «шубы». Это, так сказать, масса

«толых» кварков*. В опытах с рассеянием электронов и нейтрино легкие кварки могут «прощупываться» налетающими частицами, которые проникают глубоко внутрь нуклона-мишени; если же рассеяние происходит на больших расстояниях от центра нуклона, то налетающая частица встречает более тяжелый кварк, поскольку к его собственной массе добавляется масса его глюонных связей. Можно сказать, что наблюдаемая в эксперименте масса кварка зависит от разрешающей способности используемого для измерений «щупа». В среднем при учете всех возможных положений кварка внутри элементарной частицы его масса оказывается весьма значительной — около $\frac{1}{3}$ массы нуклона. С такой эффективной массой кварки участвуют во многих процессах.

Поскольку эффективная масса кварка внутри частицы достаточно велика, то «кварковые облака» должны проявляться в ее внутренних областях; на периферии кварки, как правило, могут находиться только в форме сильно связанных «сгустков»-мезонов. Оболочечная модель нуклона, о которой шла речь выше, с этой точки зрения является очень грубым, приближенным описанием «в среднем».

К сожалению, все соображения о свойствах глюонных сил в значительной мере имеют пока только качественный характер. Ни теория, ни эксперимент не могут

* Из различных оценок следует, что собственная масса кварков, входящих в состав основных ядерных частиц — нуклона и мезона, составляет лишь несколько процентов от массы нуклона. Другими словами, масса окружающего нас вещества почти целиком определяется энергией глюонного поля, связывающего очень легкие, практически точечные кварки сильным «цветовым» взаимодействием.

Собственная масса «странного кварка», определяющего свойства гиперонов и К-мезонов, составляет около $\frac{1}{6}$ массы нуклона. И только четвертый и пятый компоненты кваркового мультиплетта (кварки с «шармом» и «прелестью») имеют массу, превосходящую массу нуклона, — приблизительно 1,3 и 4,5 Гэв (напомним, что масса нуклона равна 0,94 Гэв).

еще сказать, достаточно ли этих сил для полного удержания глюонов и кварков внутри элементарных частиц. Может быть, существуют и какие-то другие причины ограничения «периферической свободы» суперэлементарных частиц, а может быть, полного ограничения вообще нет и при каких-то условиях эти частицы могут существовать как свободные. Следует думать, что масса свободных кварков была бы очень велика (по оценкам некоторых авторов, возможно, в 10—20 раз больше массы нуклона). Уменьшение массы кварков при их сближении должно происходить за счет чрезвычайно интенсивного излучения и соответственно образования огромного дефекта масс. Образно говоря, находящиеся на близком расстоянии кварки как бы «плавают» в связывающем их поле взаимодействия. При этом появляется нечто похожее на известный эффект Архимеда, и кварки в полевой «ванне» теряют большую часть своей массы.

Как видно, вопрос об удержании кварков внутри частиц очень сложен. Популярная в настоящее время среди физиков теория «глюонной тюрьмы» для кварков — это только одна из гипотез, хотя и наиболее вероятная. На основе этой гипотезы развивается большое число моделей, описывающих различные детали внутреннего строения элементарных частиц.

Одной из таких интенсивно обсуждавшихся в последние годы моделей является наглядное представление элементарной частицы в виде эластичного пузыря, наполненного кварковым газом. Стремление оболочки пузыря к сжатию компенсируется внутренним давлением газа, и система сохраняет равновесие. Свойства этой системы (ее масса, квантовые числа) зависят от того, в каком состоянии находятся внутри ее частички-кварки. В природе роль кварковых пузырей могут играть устойчивые, самоподдерживающиеся сгустки глюонного поля — так называемые солитоны (образование таких сгустков — характерная черта многих нелинейных по-

лей, а глюонное поле — нелинейное). Правда, расчеты показывают, что глюонные солитоны сами по себе, по-видимому, нестабильны и довольно быстро рассеиваются в пространстве. Однако есть надежда на то, что если в такой пузырь-солитон поместить кварки, то он приобретет устойчивость.

Конечно, эти модели еще очень упрощенно передают реальное положение дел. Тем не менее основанные на них расчеты дают спектр масс элементарных частиц, их размеры, величину спинов и многие другие характеристики, которые очень хорошо согласуются с экспериментом.

Нечто подобное в физике уже было, когда создавалась теория атома и квантовая механика. Тогда тоже существовали различные наглядные модели, с помощью которых предпринимались попытки если не объяснить, то хотя бы привести в систему новые факты. (Стоит напомнить модель атома в виде набора механических резонаторов или модель, в которой атом рассматривался как положительно заряженная капля с вибрирующими внутри ее электронами, и т. п.) Каждая из этих моделей была ступенью на пути к современной квантовой картине.

Если нелокальные теории, о которых шла речь выше, являются логически весьма совершенными построениями, но не дают фактически ни одного качественно нового предсказания, которое можно было бы проверить в экспериментах, то глюонно-кварковые модели, наоборот, представляя собой «клубок» на первый взгляд противоречивых фактов и гипотез, чрезвычайно богаты физическими предсказаниями, многие из которых удивительным образом подтверждаются в опытах. Создается впечатление, что мы сейчас видим туманные контуры чего-то совершенно непохожего на все, с чем мы до сих пор имели дело, и любая попытка описать это «нечто» на языке известных сегодня представлений сразу же при-

водит к противоречиям. Как образно заметил А. Паули, дело обстоит так, как будто «природа старается показать нам что-то очень простое, чего, однако, никто не видит» [122].

Приведенными полуколичественными представлениями в сущности и ограничиваются в настоящее время сведения о пространственной структуре нуклона. Информация о свойствах пространственной структуры других частиц еще более скудная. Кроме нуклона непосредственные экспериментальные данные имеются сейчас только лишь для заряженных π -мезонов. В недавних опытах советских и американских физиков по рассеянию пучка π -мезонов на атомарных электронах был измерен средний радиус мезона. Оказалось, что размер π -мезона мало отличается от размера протона. Как и для нуклонов, внутреннюю структуру π -мезонов можно пытаться описать на основе глюонно-кварковых моделей, которые в ряде пунктов неплохо согласуются с опытом. Однако, насколько в действительности близки к истине все эти модели, остается пока неясным.

Сведений о структуре других частиц совсем мало, хотя с точки зрения квантовой теории поля следует ожидать, что все без исключения элементарные частицы, в том числе электрон и такие, казалось бы, «бестелесные» частицы, как γ -квант и нейтрино, должны иметь внутреннюю структуру, обусловленную виртуальными взаимодействиями с вакуумом; при этом в отличие от нуклона и π -мезона структура частиц, не испытывающих сильных взаимодействий, сосредоточена в основном где-то в областях $\Delta x \leq 10^{-16}$ см. Для экспериментального проникновения в столь малые интервалы требуются частицы с энергиями больше сотни тысяч Гэв, что, по-видимому, еще долго будет превосходить возможности современной техники. В частности, как это ни странно, но исследование внутренней структуры электронов (казалось бы, наиболее «простой» и привычной для нас эле-

ментарной частицы) явится, по-видимому, делом довольно далекого будущего. Теоретические оценки показывают, что размеры электрона приблизительно в десять тысяч раз меньше размеров протона. Однако в этом можно видеть и счастливое обстоятельство. С высокой точностью электрон можно рассматривать как точечный, а это означает, что он может быть хорошим средством для «прощупывания» структуры других, более тяжелых частиц. В настоящее время опыты с электронами — основной источник наших сведений о структуре элементарных частиц.

11. ТРУДНОСТИ И ПАРАДОКСЫ ОПИСАНИЯ СТРОЕНИЯ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

До последнего времени всегда было так, что по мере развития науки у объектов, считавшихся ранее элементарными, обнаруживалась структура, элементы которой в количественном и качественном отношении существенно отличались от тех, что были известны ранее: они были более просты, чем состоящее из них целое. В области субъядерных масштабов мы впервые встретились с физическими системами, элементы которых обладают не меньшей сложностью, чем образуемое ими целое, а некоторые из них по своим свойствам кажутся вообще не отличающимися от целого. Так, внутри нуклона, как мы видели, может присутствовать виртуальная пара протон+антипротон, а π -мезон может виртуально диссоциировать на тройку π -мезонов, свойства которых не отличаются от свойств «суммарной», материнской частицы.

Каждая из субъядерных частиц представляет собой систему взаимодействующих виртуальных частиц и по отношению к ним является сложной. В то же время в качестве виртуальной частицы она как элемент может входить в состав других частиц или же в состав точно

такой же частицы, как и она сама. Можно сказать, что субъядерные частицы современной физики представляют собой пример диалектического синтеза: они одновременно являются и элементарными, и сложными объектами. Понятия элементарного и сложного в применении к этим объектам становятся относительными. Известная с древних времен аксиома о том, что физическое тело всегда больше и сложнее любой своей части, здесь оказывается неверной.

Ранее всегда считалось очевидным, что даже в том случае, когда некоторое целое складывается из однородных частей, это целое чем-то — хотя бы своими размерами и массой — отличается от частей-компонент. Виртуальные частицы-компоненты, на которые распадается элементарная частица, могут быть абсолютно тождественны с ней. Эти результаты кажутся просто невероятными с точки зрения традиционных физических представлений о соотношении простого и сложного, целого и части. Однако в математике объекты с аналогичными свойствами известны уже давно. Это бесконечные множества, которые могут содержать сами себя в качестве своей части.

Как известно, бесконечное множество можно задать и потенциально — путем неограниченного и последовательного перечисления его элементов, и актуально — с помощью указания некоторого признака, общего всем элементам данного множества. Последний способ позволяет так определить состав множества, что оно будет содержать части, равные всему множеству. Фактически мы это и делаем, когда говорим, что частица состоит из бесконечной совокупности других частиц, каждая из которых обладает аналогичной структурой. С математической точки зрения элементарная субъядерная частица представляет собой множество, состоящее из неограниченного числа бесконечных множеств, в том числе из неограниченного числа множеств, тождественных опре-

деляемому. Это весьма противоречивая в логическом смысле и очень сложная математическая конструкция, определяемая через самое себя.

С физической точки зрения мы имеем здесь предположение, что виртуальные частицы, образующие структуру «материнской» частицы, по своим свойствам ничем не отличаются от свободных, изолированных частиц; другими словами, предполагается, что виртуальные частицы испускаются, уже обладая полностью готовой структурой. Именно в силу этого предположения парадоксы бесконечных множеств переносятся на описание структуры элементарных частиц.

Допущение бесконечной последовательности («дурной бесконечности») абсолютно одинаковых виртуальных частиц, каждая из которых испускает одну или несколько следующих и т. д., представляет собой, конечно, идеализацию и является, несомненно, существенным методологическим дефектом представлений о строении микрочастиц, отвечающих современной квантовой теории поля.

Положение было бы менее противоречивым, если бы относительная вероятность испускания каждой следующей частицы была меньше единицы, и, следовательно, вклад в структуру состояний с N -виртуальными частицами уменьшался бы по мере увеличения числа частиц N . Структура микрочастицы в этом случае представляла бы собой суперпозицию постепенно «затухающего» ряда многочастичных состояний, и вкладом длинных цепочек последовательного испускания виртуальных частиц можно было бы пренебречь. Это так называемое разложение в ряд теории возмущений, когда позднее рождающиеся виртуальные частицы оказываются, образно говоря, менее одетыми, чем уже родившиеся. Однако в рамках современной теории такого не происходит. Расчетные вероятности испускания частиц настолько велики, что «вес» многочастичных состояний превалирует.

Менее противоречивым выглядит соотношение между целым и частью с точки зрения кварковых представлений. «Части частиц», кварки и глюоны, в этом случае качественно отличаются от слагаемого из них целого. Однако вблизи границы области удержания, где «целостное» взаимодействие становится чрезвычайно сильным, опять-таки возможно образование цепочек последовательно испускаемых виртуальных суперэлементарных частиц.

Современная теория рассматривает элементарные частицы как совершенно неизменные в своих основных свойствах объекты. В частности, частицы рождаются и исчезают, обладая одними и теми же свойствами, хотя уже из опыта известно, например, что пара протон+антипротон может образоваться при столкновении электрона с позитроном в пространственной области, размеры которой намного меньше наблюдаемых размеров протона и антипротона. Процесс «обрастания» частицы виртуальными полями не рассматривается ни одной из современных теорий.

С методологической точки зрения современные теории субъядерных частиц неудовлетворительны еще и потому, что они не учитывают возможность изменения свойств частиц (массы покоя, зарядов и т. д.) на очень больших, космических интервалах времени. Так же как и в ньютоновой физике, «оставаясь неделимыми, частицы могут составлять Тела, во все Времена имеющие одну и ту же Природу и Структуру» [28]. Это поистине «неизменяемое сущее». Получается, что применительно к элементарной частице положение диалектики о всеобщности изменения и развития как бы перестает действовать.

Сомнения в абсолютном постоянстве свойств частиц и их взаимодействий высказывались уже давно. Действительно, если окружающий нас мир является нестационарной, расширяющейся как единое целое системой, то

почему это не может влиять и на величину фундаментальных физических постоянных — по крайней мере некоторых из них, например скорости света или гравитационной постоянной? Ведь если изменяется радиус мира, то как можно с уверенностью говорить о постоянстве «универсальных длин» h/mc , h^2/mc^2 , e^2/mc^2 , а следовательно, и входящих в их определение планковской постоянной h , скорости света c , заряда частицы e и ее массы m ? Почему скорость распада частиц и атомных ядер в настоящий момент должна быть в точности такой же, как и вблизи космологической сингулярности? Наука не может пока ответить на эти вопросы.

П. Дирак, П. Йордан, Г. Гамов, К. Шварцшильд и другие выдающиеся ученые развивали различные варианты теорий с зависящими от времени физическими константами. В теории П. Дирака, являющейся обобщенным вариантом общей теории относительности, делается вывод о том, что гравитационная постоянная уменьшается с течением времени. В теории Г. Гамова, наоборот, гравитационная постоянная остается неизменной, зато возрастает заряд электрона. Анализ астрономических и геологических данных не подтверждает пока выводов, следующих из гипотезы изменяющихся физических констант. Однако точности измерений повышаются, а природа может быть устроена значительно «хитрее», чем это предполагается в «простых» теориях П. Дирака, Г. Гамова и др. Вопрос остается открытым. (Подробнее с различными аспектами этой проблемы можно познакомиться в монографии В. П. Чечева и Я. М. Крамаровского [105].)

Можно думать, что приближенный характер имеет и один из самых основополагающих принципов современной теории — принцип тождественности субъядерных частиц, т. е. абсолютной неразличимости частиц данного типа, например протонов или нейтронов, несмотря на сложность их внутренней структуры. Этот принцип счи-

тается применимым и на более глубоком уровне — по отношению к кваркам и глюонам. отождествление пред-
метов всегда предполагает лишь относительную иден-
тичность их свойств. Поэтому трудно согласиться с су-
ществованием огромного количества принципиально
тождественных между собой объектов (даже если за-
быть о сложной внутренней структуре этих объектов).
Абсолютной тождественности в реальном мире не су-
ществует*.

Необходимость рассматривать элементарные частицы
как объекты с изменяющимися, зависящими от конкрет-
ных условий свойствами становится все более очевидной.
Существенный шаг здесь уже сделан. Сначала теорети-
чески, а затем и экспериментально было доказано изме-
нение геометрической формы частиц (их поляризуе-
мость) в сильных электромагнитных полях. Это первый
случай, когда удается воздействовать на свойства эле-
ментарных частиц**.

* Иногда высказывается мнение, что от абсолютной тождествен-
ности субъядерных частиц принципиально не может быть никаких
отклонений, поскольку любое, сколь угодно малое отклонение сразу
сделало бы невозможной наблюдаемую на опыте интерференцию
амплитуд процессов с участием этих частиц. Квантовые законы
допускают только одну из двух возможностей: интерференцию, если
частицы абсолютно неразличимы, и отсутствие таковой, если имеется
хотя бы какое-то различие между свойствами частиц. Однако не
следует забывать, что это различие между свойствами частиц по
признаку представляет собой редуцирующий опыт, нарушающий
равноправность интерферирующих амплитуд, подобно тому как,
например, измерение знака электрического заряда частицы сразу же
устраняет интерференционные эффекты, наблюдаемые в случае,
когда регистрирующий прибор не чувствует знака заряда.

** Если система электрических зарядов помещается в электр-
ическое поле, она деформируется, вытягивается вдоль силовых линий
поля, т. е. происходит поляризация этой системы, зависящая от
степени ее жесткости. Это явление хорошо изучено на атомарном
и молекулярном уровнях. Однако оставалось неясным, как поведут
себя элементарные частицы. Ведь могло оказаться, что свойства,
например, «внутрипротонного вещества» совсем не похожи на свой-

В применении к субъядерным частицам совершенно
новый смысл приобретает глагол «состоять». До сих пор
он всегда означал возможность расщепить объект на не-
связанные между собой элементы или возможность со-
ставить объект из таких элементов. Утверждение «си-
стема состоит из элементов» всегда означало, что эта
система представляет собой объект, состоящий из час-
тей, меньших по величине или по массе. Однако это не-
применимо к субъядерным частицам, для которых тер-
мин «состоять» следует понимать лишь в смысле вир-
туальных диссоциаций. Таким образом, можно сказать,
что в настоящее время исчерпывается ведущая свое на-
чало из глубокой древности идея о бесконечной дели-
мости в ее различных, чисто механических формах. Как
подчеркивает М. А. Марков [66], возможность образо-
вывать частицы из других частиц с большими массами
следует расценивать как самое яркое и значительное
событие за тысячелетнюю историю существования на-
ших представлений о веществе. В этом находит свое раз-
витие выражение «состоит из...», но вместе с тем воз-
никает своеобразное противоречие с его исходным пони-
манием. Правда, при неограниченном продолжении этой
линии и переходе ко все более и более тяжелым «строи-
тельным материалам» нужно было допустить существо-
вание фундаментальных частиц с любыми, сколь угод-
но большими массами.

Выше отмечалось, что основную информацию о про-
странственной структуре микрообъектов дают опыты с

ства известных нам веществ, а протон, подобно атомам Демокрита,
вообще нельзя деформировать.

Расчет и эксперимент показали, что жесткость периферических
областей протона сравнительно невелика — всего раз в десять боль-
ше жесткости атомов. О жесткости значительно более плотных
центральных областей протона пока известно очень мало. Для дру-
гих элементарных частиц имеются лишь теоретические оценки, из
которых, в частности, следует, что у всех ядерных частиц (адро-
нов) жесткость периферии — величины одного порядка.

рассеянием очень быстрых частиц. Движение таких частиц характеризуется достаточно точно локализованными траекториями (с «размазкой» $\Delta x \sim \lambda$), и это позволяет в принципе «прощупать» как периферические, так и глубокие внутренние детали строения частицы-мишени. Однако таким путем сегодня удастся достаточно точно определить лишь значения радиусов частиц, получить сведения о распределениях плотности вещества, электрического заряда и магнитного момента на далекой периферии, качественно установить факт возрастания плотности их распределения при переходе к центральной области частицы и заметить субструктуру нуклонов, определяемую более мелкими, пространственно-обособленными конститuentами. Более детальная пространственная интерпретация экспериментальных данных встречается непреодолимые пока трудности.

Причина этого заключается в том, что в отличие от классической физики, где непосредственное экспериментальное измерение зависящих от пространственных координат распределений не вызывает принципиальных затруднений, в области квантовых явлений непосредственно измеряемые величины (форм-факторы) зависят не от пространственных (конфигурационных), а от импульсно-энергетических переменных: уровней энергии системы, энергий и импульсов участвующих в реакции частиц. Зависящие от пространственных координат плотности распределений получают в этом случае лишь как результат особого пересчета измеряемых форм-факторов. Если ограничиться нерелятивистской квантовой механикой, то такой пересчет не вызывает существенных затруднений и все его этапы имеют ясный физический смысл. В области же релятивистских квантовых явлений форм-факторы оказываются зависящими от сложной интерференции волновых функций начального и конечного состояний, несводимой к простым пространственным распределениям. Лишь для взаимодействий,

происходящих на очень далекой периферии, когда импульс отдачи мал и для описания движения частицы-мишени приближенно применимы нерелятивистские квантовомеханические соотношения, форм-фактор удается связать с пространственными величинами. Если же взаимодействия сталкивающихся частиц происходит на близких расстояниях, то форм-факторы уже нельзя связать с функциями, которые можно было бы интерпретировать как пространственные плотности. Определяемые из опыта форм-факторы в этом случае становятся некоторыми самостоятельными величинами, формально характеристическими внутреннюю структуру микрообъекта, которую не удастся сопоставить с какой-либо простой и наглядной пространственно-временной картиной [см. об этом 19].

Хотя современные ускорители в принципе дают возможность изучать структурные детали частиц вплоть до расстояний, почти в тысячу раз меньших размера протона, вопрос о пространственно-временной интерпретации результатов экспериментов остается открытым, и физики часто предпочитают говорить о деталях структуры частиц, понимая под этим особенности аналитического поведения форм-факторов.

Тем не менее и в этом случае возникают серьезные трудности, если попытаться внести хотя бы небольшое уточнение в теорию, так как это сразу же приводит к резкому увеличению числа необходимых форм-факторов. Так, при учете следующего, двухфотонного приближения к сечению рассеяния электрона на протоне, из анализа которого сейчас в основном и определяются значения форм-факторов протона, число таких различных форм-факторов возрастает до двух десятков. Определить из опыта и оперировать с таким большим числом величин становится практически почти невозможно, тем более что различным процессам взаимодействия присущи свои, специфические форм-факторы.

Правда, в достигнутой сейчас на ускорителях области энергий вклад двухфотонного приближения не превосходит нескольких процентов, однако в принципиальном отношении это не меняет дела.

Трудности, связанные с последовательной постановкой вопроса о структуре микрообъектов, явились одной из причин широкого распространения различных модельных подходов. Следует, однако, иметь в виду, что известное нам «классическое описание» структуры на языке пространственных функций распределения может быть не единственным; в принципе возможны и другие способы описания. Переход к новым явлениям часто требует совершенно новых понятий и образов. «Естественное» и «вполне понятное» зачастую бывает синонимом просто привычного. Структуру можно было бы, например, описывать в терминах отклонений от свойств какого-то из «эталонного» объекта, однако понятия и величины, характеризующие эти отклонения, должны обладать достаточной универсальностью и быть применимыми к большому числу различных процессов и явлений. Используемый сейчас в физике язык форм-факторов (или в более общей форме — язык вершинных функций) удовлетворяет этому требованию лишь в очень малой степени.

Изучение возможных обобщений привычного нам образа пространственно-временной структуры представляет собой важную задачу философского и физического исследования. Как абстракция, понятие структуры отражает любую внутреннюю упорядоченность и устойчивость объекта, формы же выражения структурных связей могут быть очень разнообразными.

Некоторые авторы считают, что трудности пространственной интерпретации извлекаемых из эксперимента структурных функций свидетельствуют о неприменимости пространственно-временных представлений в области субатомных размеров $\Delta x \leq 10^{-13}$ см, $\Delta t \leq 10^{-24}$ сек.

По мнению Дж. Чу, «термин «структура» фактически является вводящим в заблуждение в том отношении, что ему может придаваться дополнительный смысл некоторого детального пространственного распределения вещества «внутри» нуклона; комбинация принципов относительности и квантовой механики указывает, что такому пространственному распределению нельзя приписывать какой-либо смысл» [113, с. 3]. Чу считает, что пространство и время в микромире попросту не существуют, и предлагает структуру элементарных частиц и даже сами эти частицы рассматривать лишь как проявление в эксперименте различных особенностей единственной физической реальности на микроуровне — амплитуды вероятностей, связывающей различные фиксированные состояния мира. Элементарные частицы при таком подходе ассоциируются с полюсными сингулярностями этой амплитуды.

С такой точкой зрения нельзя согласиться. Тот факт, что одновременный учет релятивистских и квантовых законов приводит к трудностям в интерпретации форм-факторов, а при описании экспериментов по взаимодействию субатомных частиц часто действительно можно обойтись без какого-либо упоминания о координатах x и t , еще не доказывает ненаблюдаемого «нефизического» характера этих переменных. В таких случаях мы просто не рассматриваем те аспекты явлений, которые связаны с x и t . Трактовка же частиц и деталей их структуры как отображения в регистрирующих приборах аналитических особенностей амплитуды вероятностей является чисто формальной, совершенно необязательной и в то же время существенно обедняющей наше восприятие окружающего мира.

Нельзя согласиться также с теми физиками и философами, которые рассматривают элементарные частицы, их сложную структуру как условные теоретические кон-

* Эти вопросы подробно рассмотрены в монографии [19].

структы, собирательно характеризующие определенные устойчивые группы связанных между собой физических явлений. Например, по мнению В. Гейзенберга, «неделимой элементарной частице современной физики присуще свойство занимать пространство не в большей мере, чем, скажем, свойство цвета и твердости. По существу она является не материальным образованием во времени и пространстве, а только символом, введение которого придает законам природы особенно простую форму» [35, с. 49—50]. Позитивистский характер подобной точки зрения очевиден. Для того чтобы понять ее несостоятельность, достаточно еще раз обратиться к книге В. И. Ленина «Материализм и эмпириокритицизм».

Вместе с тем следует еще раз отметить, что в области ультрамалых масштабов пространственно-временная форма существования материи может быть весьма отличной от привычного образа макроскопического пространства-времени, и это, конечно, ни в коей мере не подрывает основ материалистической картины мира. Как подчеркивал В. И. Ленин, ревизия конкретных форм материализма, соответствующих вполне определенным историческим условиям, «не только не заключает в себе ничего «ревизионистского» в установившемся смысле слова, а, напротив, необходимо требуется марксизмом» [3, с. 265—266].

Итак, мы видим, что современная физика субъядерных частиц содержит много трудностей. Некоторые из них настолько фундаментальны, что пока вообще не ясно, как они будут преодолены. Несмотря на поразительные успехи, достигнутые физикой высоких энергий за последние 20 лет, которые можно характеризовать как революцию в представлениях о структуре микромира, в принципиальном отношении положение здесь еще весьма неудовлетворительно, и говорить о приближающемся исчерпании явлений и закономерностей в этой области нет никаких оснований.

Гипотеза кварков во много раз уменьшила число объектов, которые при данном уровне знаний считаются «наипростейшими». Но нельзя ли каким-то образом еще снизить число таких объектов? Ведь сокращение числа частиц, о котором шла речь в предыдущем параграфе, касается лишь области сильных взаимодействий и совершенно не затрагивает трех других типов взаимодействий. В частности, обращает на себя внимание изолированность семейства лептонов, радикально отличающихся по своим свойствам от «кварково-составных частиц» — мезонов и барионов; ни μ -мезон, ни электрон, ни нейтрино не удается представить «состоящими» из кварков. На фоне гипотезы кварков лептоны выглядят чужеродными объектами. В чем причина столь сильных различий?

В более общей постановке это вопрос о том, действительно ли в природе сосуществуют несколько фундаментально различных типов взаимодействий, или они представляют собой лишь специфические проявления какого-то одного, универсального взаимодействия. Говоря словами М. А. Маркова, «как это ни странно, но по очень крупному счету наше понимание физики не очень далеко ушло от понимания древних. Это утверждение звучит как парадокс. Но по крупному счету оно справедливо. Действительно, если древние греки считали фундаментальными сущностями четыре стихии: землю, воду, воздух и огонь, — не понимая, как мы теперь скажем бы, фундаментальные свойства этих стихий, то современная физика пытается раскрыть все содержание реального мира как сложное взаимодействие различных «полей». Это — те же четыре стихии древних: сильные поля, электромагнитные, слабые, гравитационные. И так же, как древние, мы пока далеки от понимания фундаментальных свойств этих стихий XX столетия» [66, с. 193].

На первый взгляд объединение взаимодействий и дальнейшее сокращение числа фундаментальных мультиплетов кажутся невозможными: уж очень сильно различаются по своим свойствам суперэлементарные частицы. Масса электрона в тысячи раз меньше массы кварка, а масса фотона и нейтрино вообще равна нулю: вероятности процессов, связанных со слабыми взаимодействиями, грубо говоря, в десять миллиардов раз меньше электромагнитных, а последние в свою очередь в тысячу раз менее эффективны, чем сильные взаимодействия. Казалось бы, ничего общего. Тем не менее теоретические исследования последних лет подсказывают весьма общий подход к дальнейшему объединению мультиплетов и унификации взаимодействий. И как это часто бывает, решение находится на пересечении нескольких парадоксов.

В физике давно были известны преобразования калибровки. Например, протекающие в природе физические процессы не зависят от того, какой из двух противоположных электрических зарядов мы будем считать отрицательным, а какой — положительным и соответственно какую из двух различающихся своим электрическим зарядом частиц мы будем описывать электронной, а какую — позитронной волновой функцией. По аналогии только соглашением определяется, какое из двух состояний нуклона, различающихся направлением изотопического спина, считать протоном, а какое — нейтроном или какой знак барионного числа (плюс или минус) приписать барионам, а какой — антибарионам. От условия зависит, какие частицы называть странными, а какие — нестранными и т. д. Все это определяется выбором точек отсчета, калибровки, и характеризует не сами физические явления или объекты, а условия их наблюдения. Объективным и не зависящим от наблюдателя фактом является лишь наличие вполне определенных, противостоящих друг другу признаков, специфических

для данного круга явлений. В различных областях пространства-времени калибровку можно выбирать по-разному; другими словами, физическая теория должна быть калибровочно инвариантной.

Согласно общей теореме, доказанной еще в начале XX в. немецким математиком Э. Нетер [подробнее см. 19], каждому преобразованию, оставляющему теорию инвариантной, соответствует некоторая сохраняющаяся величина. В случае калибровочных преобразований эта величина представляет собой заряд (электрический, барионный и т. д.), порождающий вокруг себя соответствующее, так называемое калибровочное поле, которое, как это следует из теории, должно иметь кванты с нулевой массой покоя (в противном случае теория сразу же становится калибровочно неинвариантной)*. Однако науке известна лишь одна «безмассовая частица» — фотон, связанный с сохраняющимся при всех взаимодействиях электрическим зарядом. Других подобных частиц, вопреки предсказаниям теории, не наблюдается**. Почему это так, оставалось невыясненным.

Теоретикам был известен еще один удивительный факт, который сначала казался совершенно не связанным с загадкой калибровочных частиц. В 1960 г. Дж. Голдстоун обнаружил, что если в уравнение квантованного поля ввести нелинейную добавку (эта добавка отражает эффект действия поля самого на себя), то уравнение может иметь не одно, а сразу несколько решений, которые описывают вакуумное состояние, т. е. состояние с минимумом полной энергии, не содержащее

* В физической литературе часто говорится о том, что калибровочные поля «динамически реализуют законы сохранения». Это очень точно выражает суть дела.

** Из теории поля следует, что калибровочные поля не могут быть спинорными. Поэтому поле нейтрино не подходит под разряд калибровочных. Кроме того, в последнее время получены некоторые данные о том, что нейтрино, возможно, имеет небольшую массу покоя.

ни одной реальной частицы, а только флуктуации виртуальных частиц *. Другими словами, в нелинейной теории Дж. Голдстоуна вакуум оказывается расщепленным. Он может находиться в различных состояниях, подобно тому, например, как твердое тело может находиться в различных кристаллических модификациях. Одно состояние вакуума не может перейти в другое (во всяком случае мы не знаем, как это могло бы произойти в рамках современной теории), поэтому любое из этих состояний можно в принципе взять за основу при построении теории элементарных частиц.

С этой точки зрения существование окружающего мира означает фактический выбор одного из возможных состояний вакуума. Для нас, жителей мира, это эквивалентно изначальному, или, как принято сейчас говорить, спонтанному, нарушению симметрии. Конечно, дело не в том, что мир как целое становится несимметричным, просто его симметрия оказывается скрытой от нас. Убедиться в существовании симметрии можно только косвенным путем, изучая физико-математические модели мира, в которых непосредственно видна симметрия различных вакуумных состояний.

Это можно пояснить следующим образом. Представим себе, что в нашем распоряжении имеется уравнение, в определенном приближении описывающее физическую структуру Мира (разумеется, речь может идти лишь о некоторой конечной, хотя и очень большой пространственно-временной области, см. § 3). Если это уравнение симметрично, то между его частными решениями также должна быть симметрия, хотя каждое из них в отдель-

* Еще раньше аналогичный эффект был установлен Н. Н. Боголюбовым при изучении квантовых свойств жидких и твердых тел. Поле — это тоже система большого числа частиц (квантов поля), поэтому не удивительно, что теоремы, доказанные в общем виде для квантовых систем, оказываются одновременно применимыми как для конденсированных сред, так и для квантованных полей различных типов.

ности может и не обладать симметрией. Для жителей мира, свойства которого соответствуют какому-то частному решению, его глобальная симметрия, естественно, окажется скрытой до тех пор, пока они путем «мысленного наблюдения» не выйдут за рамки непосредственно наблюдаемой реальности. Однако при этих условиях остается неясным, как же все-таки отразить в теории то конкретное состояние вакуума, которое осуществляется в нашем мире.

Выход нашел английский физик П. Хигс. Он заметил, что добавка нелинейного голдстоуновского поля к калибровочным полям приводит к тому, что соответствующие им кванты-частицы приобретают массу. Образно говоря, эти частицы становятся как бы коллективными возбуждениями взаимодействующих полей. При этом устраняется трудность с предсказываемыми, но ненаблюдаемыми на опыте безмассовыми частицами, и в то же время появляется возможность фиксировать то или иное состояние вакуума, задавая определенные значения масс частиц. Это проявляется в том, что в мультиплетах расщепляются, становятся различными первоначально одинаковые массы частиц. Одновременно происходит расщепление постоянной (заряда), характеризующей взаимодействие, благодаря чему в эксперименте проявляются различные типы фундаментальных взаимодействий.

С точки зрения современной теории более правильно говорить не о различных типах взаимодействий, а о различных областях энергии и соответствующих им интервалах пространства-времени, где в большей степени проявляются те или иные специфические свойства единого, универсального взаимодействия, обладающего сложной структурой. Лишь при очень высоких энергиях, когда несущественны различия масс частиц, взаимодействие становится однородным и в нем нельзя выделить сильную, электромагнитную и слабую компоненты.

Спонтанное нарушение симметрии, определившее конкретные свойства нашего мира, могло произойти в процессе «первичного взрыва» вблизи космологической сингулярности, когда температура расширяющейся Вселенной несколько снизилась и, подобно тому как это происходит, например, с остывающим твердым телом в точке Кюри, мир перешел в конкретное «фазовое» состояние с определенным вакуумом. Правда, при этом по-прежнему остается неясным, почему осуществляется «вариант мира» именно с такими массами частиц и постоянными взаимодействиями, какие наблюдаются в эксперименте; ответа на этот трудный вопрос мы еще не знаем. Но если вакуум уже «выбран» и соответствующим образом «сбалансированы» все физические законы, то мы, жители данного мира, можем даже и не подозревать о возможности существования множества других симметричных миров.

Поскольку скорости взаимодействий конечны, а размеры «остывающей» Вселенной уже весьма значительны, не исключено, что в различных ее областях вакуум мог оказаться различным. Другими словами, во Вселенной может быть множество различающихся по своим физическим свойствам миров — не только из-за того, что некоторые из них замкнутые и полужамкнутые системы, но и вследствие расщепления вакуума. Трудно представить себе, какие необычные явления могли бы происходить на границе таких, различающихся своим вакуумом миров*.

Несмотря на фантастичность нарисованной картины, в современной теоретической физике существуют модели, позволяющие рассчитывать расщепление вакуума и предсказывать его следствия. Многое здесь еще очень не ясно, а расчетные методы зачастую имеют рецептур-

* Оценки подсказывают, что на границах с различным вакуумом должно скапливаться вещество, и это приводит к астрофизическим эффектам. Такие эффекты пока не наблюдались.

ный характер. Можно по-разному выбирать исходные («затравочные») мультиплеты, использовать различные варианты расщепления масс. Тем не менее уже получены исключительно важные и интересные результаты.

Первым серьезным успехом было создание единой теории электромагнитного и слабого взаимодействия. Оказалось, что различие этих двух типов взаимодействия принципиально и имеет не качественный, а количественный характер. Дело в том, что благодаря спонтанному нарушению симметрии свойства частиц, осуществляющих электромагнитное и слабое взаимодействия, оказываются сильно расщепленными: электромагнитное взаимодействие передается безмассовыми квантами — фотонами, а слабое взаимодействие, наоборот, очень тяжелыми квантами — заряженным мезоном $W^\pm$ и нейтральным мезоном Z^0 с массой, в десятки раз превосходящей массу протона. Обмен такими мезонами происходит с большой интенсивностью на расстояниях $\sim 10^{-17}$ см, и слабое взаимодействие должно здесь проявляться с такой же интенсивностью, как и электромагнитное; на больших расстояниях вероятность обмена тяжелыми квантами быстро уменьшается и основным типом взаимодействия становится электромагнитное*. Введение сильно различающихся постоянных взаимодействий является феноменологическим выражением этого обстоятельства.

Сто лет назад электродинамика Фарадея — Максвелла объединила три различных явления: электричество, свет и магнетизм. Теперь к этому добавился феномен слабого взаимодействия. И хотя теория нуждается еще в дальнейшей проверке экспериментом, а в некоторых деталях, по-видимому, требует усовершенствования, в

* Благодаря соотношению неопределенностей $\Delta p \cdot \Delta x \sim \hbar$ импульс p , а следовательно, и кинетическая энергия частиц на малых расстояниях Δx очень велики, поэтому величина их массы становится несущественной.

настоящее время нет сомнений в правильности ее исходных идей; она позволила привести в порядок огромное количество экспериментальных данных.

Предложены и интенсивно разрабатываются еще более далеко идущие модели, где на основе идеи о спонтанном нарушении симметрии объединяются электромагнитное, слабое и сильное взаимодействия. Очень смелая гипотеза недавно была выдвинута двумя учеными из Международного центра теоретической физики в Тресте — А. Саламом и И. Пати. Согласно их гипотезе, лептонные частицы представляют собой сильно расщепленное четвертое «цветное» состояние кварка [123, 125, 130, 131]. Этих частиц шесть: электрон, μ -мезон, недавно открытый тяжелый лептон τ и три симметрично соответствующих им нейтрино (наблюдаемые на опыте электронное и мюонное нейтрино и гипотетическое «тауонное» нейтрино). Поэтому предполагается, что кварк имеет шесть «ароматных» степеней свободы (т. е. к пяти «ароматам», о которых шла речь в предыдущем разделе, добавляется еще один). Кварк при этом становится 24-компонентной частицей и изображается матрицей, шесть строк которой различаются «ароматом», а четыре столбца — «цветом».

На лептоны здесь распространяются понятия изотопического спина, «странности», «шарма», и впервые делается попытка дать определенный ответ на давно волнующий физиков вопрос: зачем природе потребовался μ -мезон — частица, которая лишь величиной своей массы отличается от электрона? Более ясной становится также необходимость двух типов нейтрино — электронного и мюонного; из условия симметрии предсказывалось существование третьего типа нейтрино.

Включение в состав кварка лептонных состояний означает, что эта частица одновременно является и барионом, и мезоном, и лептоном. Фундаментальное различие между этими типами частиц исчезает, и они могут

переходить друг в друга. Например, становится возможным распад протона на лептоны и мезоны. Однако все это происходит лишь в области очень высоких энергий и ультрамалых пространственно-временных интервалов. На уровне же доступных современному эксперименту масштабов $\Delta x > 10^{-16}$ см лептоны, как и все другие составляющие кварков, отличаются от мезонов и барионов тем, что проявляются в виде простых, точечных частиц, а предсказываемые теорией вероятности процессы, нарушающие законы сохранения барионного и лептонного чисел, крайне малы*.

Теория Салама — Пати содержит не менее восьми суперэлементарных мультиплетов: кварк, антикварк, три сорта связывающих их многокомпонентных частиц-глюонов и несколько калибровочных частичек Голдстоуна — Хигса**. Состояния этих частиц сильно расщеплены по

* Согласно единой теории сильных, электромагнитных и слабых взаимодействий, все вещество окружающего мира, имеющее в своем составе протоны, является радиоактивным и в будущем должно полностью распасться. Однако это может произойти лишь по прошествии фантастически огромного числа лет; время жизни протона составляет приблизительно 10^{31} — 10^{32} лет, что в сто или даже в тысячу миллиардов раз превосходит время, истекшее с момента «зарождения» нашей Вселенной.

Самые точные измерения радиоактивности протонов были выполнены недавно в одной из южноафриканских шахт на глубине 3 км (чтобы исключить фон космических лучей). Точность этих измерений позволяет утверждать, что время жизни протона больше 10^{30} лет. Для обнаружения предсказываемых теорий распадов требуется увеличить точность экспериментов еще на один-два порядка.

От результатов опытов по радиоактивности протонов зависит выбор направления дальнейшего развития теории элементарных частиц, а с этим связано решение фундаментальных астрофизических проблем, касающихся «первых мгновений» жизни нашей Вселенной. Поэтому такие опыты с различными модификациями готовятся сейчас в большинстве лабораторий мира, изучающих ядерные явления при высоких энергиях. Уже в ближайшие годы здесь будут получены важные данные.

** В состав суперэлементарных мультиплетов Салама и Пати входят такие интересные объекты, как диотоны (частицы, перенос-

массе. Некоторые из них всего лишь в несколько раз тяжелее протона и могут проявляться в опытах, проводимых на современных ускорителях. Другие состояния значительно тяжелее; часть из них имеет приблизительно такую же массу, как и самые тяжелые атомные ядра, а несколько состояний оказываются еще более тяжелыми — в сто, а может быть, даже в тысячу раз тяжелее. Это уже почти макроскопические частицы, и обнаружить их можно лишь в процессах при чрезвычайно высоких энергиях, доступных нам пока только в опытах с космическими лучами. Массы различаются так сильно, что трудно даже поверить, что это состояния одной и той же частицы.

Есть такие варианты единой теории (эта теория пока еще весьма неоднозначна), в которых присутствуют ультратяжелые частицы с массой в 10^{14} — 10^{15} раз большей массы протона. Вес таких частиц сравним с весом небольших пылинки. Есть основания предполагать, что эти частицы играли очень важную роль в первые мгновения жизни нашей Вселенной (подробнее об этом см. ниже).

Как уже говорилось, физическая причина расщепления масс и взаимодействий — результат влияния окружающего фона, вакуума. Частица играет роль как бы затравочного центра, вокруг которого происходит поляризация вакуума и образуется «облако» виртуальных частиц, свойства которого определяются «выбранным» состоянием вакуума. Это «облако» экранирует «голую» частицу и изменяет ее свойства. Плотность и состав экранирующего «облака» изменяются в зависимости от величины заряда и других квантовых чисел частицы, поэтому у различных ее состояний оказывается различная масса. Возникают различия и в силе взаимодейст-

ствия не только «цвет», как глюоны, но и «аромат»), лептокварки (кванты промежуточного поля, переводящие известные нам кварки в лептоны и обратно), дикварки (трансформирующие кварки в антикварки).

вия. Влияние «облаков» виртуальных частиц на свойства «голых» частиц оказывается настолько сильным, что иногда на энергию связи и различные компенсирующие эффекты уходит целиком вся масса взаимодействующих частиц и «одетая», наблюдаемая в эксперименте частица оказывается полностью лишенной массы покоя.

Пожалуй, еще более поразителен вывод Салама и Пати о том, что фотон следует рассматривать не как самостоятельную «исходно-элементарную частицу», а как сложную суперпозицию нескольких различных состояний глюонов. Соответственно сложную структуру имеет и электрический заряд, характеризующий взаимодействие фотона. Одна его часть оказывается связанной с «ароматными» степенями свободы кварка, а другая — с «цветными». Обе части заряда дробные, но результирующий заряд может быть выбран либо дробным, как в обычной теории кварков, либо целым. При этом выбор целочисленного заряда не противоречит опытам с рассеянием электронов и нейтрино на нуклонах, где был обнаружен дробный заряд партонов-кварков (см. § 10), поскольку «цветные» степени свободы кварка включаются в электромагнитное и слабое взаимодействия лишь при очень высоких энергиях, а в области небольших энергий во взаимодействии с электроном и нейтрино участвуют лишь «ароматные» компоненты, и поэтому наблюдаемый электрический заряд кварка оказывается здесь дробным.

Какой из двух возможных в настоящее время вариантов теории (с дробными или с целыми зарядами) отвечает реальному положению дел, покажут лишь дальнейшие исследования (тем более что кроме теории Салама и Пати имеются и другие теоретические модели, объединяющие различные типы взаимодействий) *.

* Вариант единой теории с целочисленными зарядами кварков интересен в том отношении, что позволяет обойтись без гипотезы о полном удержании глюонов и кварков внутри элементарных ча-

Что касается частиц Голдстоуна — Хигса, то их массы и даже число меняются в зависимости от конкретного варианта теории. Требуется только, чтобы эти частицы не имели спина и могли взаимодействовать между собой без участия других типов частиц. Такое «самодействие» и образует основной, «затравочный» уровень мира — его вакуум, на который «накладываются» сложные флуктуации поля глюонов и всех других полей. Не исключено, что поля Голдстоуна — Хигса являются всего лишь приближенным, модельным описанием на привычном для нас языке частиц каких-то глубоких и еще не понятых нами свойств природы.

Чтобы уменьшить неоднозначность современных вариантов единой калибровочной теории поля, по-видимому, потребуются какие-то новые принципы. Вместе с тем многое может подсказать и сопоставление предсказаний теории с опытом. Здесь предстоит еще большая теоретическая и экспериментальная работа. Однако в принципиальном отношении важна уже сама возможность построения таких моделей (к тому же согласующихся с большим числом экспериментальных данных и предсказывающих новые эффекты).

Принципиальный шаг, с которым связаны успехи и надежды современной теории поля, — это переход к нелинейным полям. До сих пор в теории поля использовались лишь линейные уравнения, которые имеют единственный тип решения в виде плоской (или сферической) волны. Это решение и явилось основой всей процедуры квантования — представления поля в виде совокупности

частиц. Поскольку электрический заряд всех компонент кварка целочисленный, то его тяжелые компоненты будут без нарушения закона сохранения заряда быстро распадаться на более легкие частицы — лептоны и мезоны, подобно тому как нейтрон, стабильный внутри ядер, в свободном состоянии распадается на протон и лептоны. Так же быстро распадаются и глюоны. Этим можно было бы объяснить, почему в свободном состоянии не наблюдается ни глюонов, ни кварков.

не связанных друг с другом волн — квантов. Нелинейные уравнения хромодинамики, описывающие самовоздействующие поля, имеют более богатый спектр решений (например, решения в виде упоминавшихся уже выше частицеподобных волновых сгустков — солитонов или в виде инстантонов — фиктивных частиц-солитонов с мнимым временем). Инстантонные решения полевых уравнений в последнее время привлекают особое внимание физиков, поскольку их изучение, возможно, явится ключом к дальнейшему развитию полевых теорий.

Физический смысл инстантонов можно понять, если вспомнить, что в квантовой механике существуют туннельные переходы частиц между состояниями, которые разделены барьером, непреодолимым с точки зрения классической теории. Если такие переходы все же попытаться формально описать с помощью уравнений классической механики, то нетрудно убедиться, что решения этих уравнений существуют и в подбарьерной области, но имеют здесь «нефизический вид» — такой, как если бы частица двигалась в пространстве с мнимым временем. Можно сказать и наоборот: решения классических уравнений, которые выглядят как описание движения с мнимым временем, следует считать указанием на то, что в более последовательной квантовой теории между соответствующими состояниями возможны туннельные переходы. Инстантоны представляют собой аналогичные формальные решения классических уравнений для свободного нелинейного поля. Можно предполагать, что инстантонные решения отражают возможность туннельного обмена большими флуктуационными сгустками поля (солитонами) между различными состояниями вакуума.

Такие переходы должны приводить к наблюдаемым эффектам; в частности, испускание и поглощение вакуум глюонных инстантонов («дрожание цветного вакуума») могут привести к возникновению специфиче-

ского типа сил между кварками, погруженными в этот вакуум. Эти вопросы сейчас интенсивно обсуждаются в физической литературе.

До сих пор речь шла о трех типах фундаментальных взаимодействий: слабом, электромагнитном и сильном. В рамках единой калибровочной теории поля при переходе к очень малым расстояниям эти взаимодействия, как показывают расчеты, становятся сравнимыми по величине: интенсивность слабых взаимодействий возрастает до интенсивности электромагнитных, а интенсивность сильных взаимодействий соответственно уменьшается. Возникает вопрос: нельзя ли в эту схему включить и гравитационное взаимодействие, с тем чтобы единым, универсальным образом описывать все известные в настоящее время взаимодействия?

Есть еще одно обстоятельство, подсказывающее необходимость единого (а в первом приближении — совместного) рассмотрения гравитационного и других типов взаимодействий. Как уже отмечалось выше (см. § 10), образ протяженной частицы чужд современной теории. Пространственно-протяженная структура элементарных частиц, проявляющаяся в эксперименте, — это вторичный эффект образования облака виртуальных частиц («шубы») вокруг исходно-точечной частицы. Взаимодействие в современной теории поля происходит именно с такими точечными частицами еще до облачения их в виртуальные «шубы». Теория описывает наблюдаемую в эксперименте структуру частиц и в то же время содержит расходящиеся выражения. В этом-то и состоит основное противоречие современных полевых теорий.

В общей теории относительности ситуация в определенном смысле обратная. Здесь, строго говоря, не существует понятия точечной частицы, все физические объекты оказываются протяженными [64]. Дело в том, что уменьшение размеров тела сопровождается увеличением

его плотности и соответствующим возрастанием гравитационного дефекта масс, поэтому при стягивании тела в точку его наблюдаемая масса устремляется к нулю и точечный объект просто исчезает из поля зрения внешнего наблюдателя. Другими словами, гравитационное поле в силу его нелинейного характера автоматически исключает предельно малые пространственно-временные интервалы. Собственная энергия частицы, которая в классической электронной теории Максвелла — Лоренца равна бесконечности, при учете гравитационных эффектов оказывается конечной величиной. Совместная система гравитационных, электромагнитных и механических уравнений движения не имеет расходимостей. При этом протяженность частиц не приводит к нарушению причинности, так как система уравнений релятивистски инвариантна и любые ее решения могут содержать лишь скорости сигналов, меньшие скорости света. Можно думать, что единая теория с универсальным взаимодействием тем более должна обладать такими чертами.

Конечно, все эти соображения основаны на классической теории гравитации. При учете квантовых эффектов на уровне $\Delta x \sim 10^{-33}$ см и $\Delta t \sim 10^{-43}$ сек, по-видимому, возникнут ограничения беспредельному уменьшению пространственно-временных интервалов (например, из-за квантовых флуктуаций метрики [22]), и в теории появится элементарная длина. Однако можно предполагать, что эта теория, как и ее классический аналог, будет свободна от бесконечных выражений... если только не обнаружатся какие-то совсем новые типы расходимостей. В чем можно быть совершенно уверенным, так это в том, что любая будущая, более последовательная теория неизбежно должна иметь свои трудности и противоречия.

Сейчас еще нельзя ответить на вопрос: можно ли объединить все четыре фундаментальных взаимодействия? Это связано прежде всего с тем, что в отличие от

всех других известных нам материальных полей гравитационное поле характеризуется неразрывной связью с кривизной пространства-времени, которая сохраняется при всех трансмутациях материальных объектов*.

Можно, конечно, предположить, что «затравочное» универсальное поле, специфическим проявлением которого являются поля наблюдаемых мезонов и фотонов, в действительности, как и поле гравитации, тесно связано с кривизной пространства-времени и его можно рассматривать погруженным в плоское пространственно-временное многообразие только благодаря тому, что во всех случаях, с которыми нам до сих пор приходилось встречаться, оно оказалось слабым (теорию слабого гравитационного поля также можно сформулировать в плоском приближении, не используя представлений о кривизне пространства-времени). Такая точка зрения могла бы послужить основой для объединения всех четырех типов взаимодействия, однако это пока лишь гипотеза.

Если опираться на факты, то следует признать, что гравитация (тяготение) представляет собой определенное свойство материи. Материя (во всяком случае ее известные формы) обладает таким свойством, так же как она обладает, например, свойством инерции (массы). И подобно тому как массе соответствует энергия — определенная характеристика атрибута материи — ее движения, гравитации соответствует кривизна (или более обще — геометрия) — вполне определенная характеристика другого атрибута материи — пространства и времени. Именно материальные объекты, обладающие массой, искривляют вокруг себя пространство-время, а не,

* Следует подчеркнуть, что речь идет об известных формах материи. У нас нет совершенно никаких оснований приписывать всеобщий, универсальный характер таким конкретным свойствам материи, как тяготение, масса, энергия и т. п. (см. примечание на с. 43).

наоборот, искривления пространственно-временной метрики проявляются в виде материальных образований*. Распределенные в пространстве проявления свойства гравитации — гравитационное поле (поле гравитонов) — и поля других элементарных частиц отражают различные аспекты реальности: гравитационное поле в первую очередь оказывается связанным с пространством и временем, остальные поля связаны прежде всего с движением (энергией) и только опосредованно, через гравитацию, с пространством и временем.

Представляя собой свойство, а не разновидность материи, гравитация, подобно массе, имеет материальный носитель — обладающие массой и энергией кванты гравитационного поля. В этом смысле гравитационное поле вполне материально, как, например, поле фотонов. Вместе с тем это принципиально иная материальная реальность по сравнению со всеми другими полями. Последние могут переходить в другие виды материи, т. е. исчезать и заново возникать. Гравитация же и связанная с ней кривизна пространства-времени, подобно массе, энергии, информации и другим характеристикам материи и ее атрибутов, сохраняется в процессах, реализующихся в природе [18, 19]**.

Пока еще не ясно, удастся ли на каком-то более высоком физическом уровне объединить два типа материальных полей, которые представляются сейчас существенно различными: «обычные» поля частиц типа элек-

* Определенной массе соответствует вполне определенное количество энергии, и в этом смысле можно условно говорить об «эквивалентности» массы и энергии, но это вовсе не означает, что материя сводится к энергии — к движению. Точно так же из того факта, что гравитации всегда сопутствует строго определенное искривление пространства-времени, нельзя делать вывод о сведении материи к ее атрибутам — пространству и времени, хотя условно опять-таки можно сказать об «эквивалентности» гравитации и кривизны пространства-времени.

** См. примечание на с. 32.

ромагнитного поля, поля электронов и т. п. (так называемые поля максвелловского типа) и метрическое гравитационное поле. Большие надежды здесь связываются с разработкой теории супергравитации и так называемой обобщенной супергравитации.

Выше уже упоминалось о том, что идея супергравитации возникает при спинорном обобщении гравитационной теории Эйнштейна. В основе этого обобщения лежит гипотеза о том, что если отвлечься от расщеплений масс частиц и других маскирующих эффектов, то законы природы должны быть одинаковыми для всех типов частиц, независимо от того частного факта, является ли частица фермионом (т. е. имеет дробное значение спина) или бозоном (т. е. частицей с целочисленным спином)*. Отсюда следует, что все соотношения физической теории должны оставаться инвариантными при изменении как пространственно-временных, так и спиновых переменных. Этого требования оказывается достаточно, для того чтобы вывести обобщенные полевые уравнения, которые в качестве частного случая содержат уравнения Эйнштейна (напомним, что каждой группе преобразований в физике обязательно соответствует закон сохранения специфического «заряда» и порождаемое этим «зарядом» поле).

Правда, вид обобщенных уравнений пока еще весьма неоднозначен. В простейшем варианте теории супергравитационный мультиплет состоит из гравитона и гравитино, причем последнее, по-видимому, настолько тяжелая частица, что может проявиться и исказить теорию Эйнштейна лишь в области субмикроскопических расстояний. В более сложном варианте теории, называемой обобщенной супергравитацией, к гравитону и гравитино добавляются еще два многокомпонентных семейства бозонов с нулевым и единичным спином и семейство

* Разделение частиц на фермионы и бозоны — это первый и наиболее общий шаг в любой современной классификации частиц.

фермионов со спином $\frac{1}{2}$. Эти пять семейств частиц представляют собой различные состояния одной «супер-частицы», которая в зависимости от конкретных условий проявляется и как гравитон, и как гравитино, и как фотон и т. д. Есть надежда, что таким путем удастся объединить кванты всех четырех фундаментальных взаимодействий, которые будут возникать из одного источника — супергравитационного заряда.

Насколько далеко удастся продвинуться по пути такой «гранд-унификации» частиц и взаимодействий, покажет будущее.

Термин «единая теория» долгое время понимался в физике как реализация выдвинутой А. Эйнштейном и его последователями программы объединения гравитационного и других типов полей на чисто геометрической основе, когда первичным считается не материя, а ее пространственно-временная форма и кванты полей рассматриваются лишь как проявления некоторых метрических и топологических свойств пространства-времени. Полвека назад А. Эйнштейн писал: «Пространство, выделенное на свет телесным предметом, возведенное в степень научной реальности Ньютоном, поглотило в последние десятилетия эфир и время и готовится также поглотить поле и корпускулы, следовательно, пространство остается единственным теоретическим представителем реальности» [110, с. 5]. Стремление А. Эйнштейна «понять материю как форму проявления пустого искривленного пространства-времени» [110, с. 15] его ученик и последователь Дж. Уилер развил в целое направление — так называемую геометродинамику, рассматривающую в качестве основы «всего сущего» не материю, а искривленное, обладающее различными топологическими особенностями пространственное многообразие. Сторонники «геометродинамического подхода» убеждены в том, что в мире нет ничего, кроме пустого искривленного пространства, что все физические тела и их свойства — это

лишь специфические проявления искривленности пространства, что физика — это геометрия и что все физические понятия должны быть выражены в терминах пустого, различным образом искривленного пространства [95, с. 218]. Важно подчеркнуть, что это принципиально иной подход по сравнению с рассмотренным выше, подход, основанный на совершенно несостоятельной методологической посылке. Реальная физическая ситуация, действительное соотношение вещей при этом фактически поставлены на голову. Пространственно-временной форме здесь по существу придаются свойства определяющей ее материальной первоосновы, которая, наоборот, трактуется как некий атрибут своей формы [18, 19]. Подобно тому как это имело место в философии Платона, истинными «элементами мира» становятся не субстанциональные объекты, а свойства симметрии.

Многолетние исследования Эйнштейна и его последователей не принесли успеха геометродинамической программе, наоборот, они показали, что концепция полной геометризации мира приводит к противоречиям как в философском, так и в чисто физическом аспекте*.

* Как считают некоторые авторы [см., например, 11], убежденность сторонников геометродинамического подхода в том, что в мире нет ничего, кроме пустого искривленного пространства, а материя, заряд, электромагнетизм и другие поля являются лишь проявлением искривления пространства [95, с. 218], на самом деле не имеет прямого отношения к создаваемой ими теории. По мнению этих авторов, последняя фактически представляет собой описание (восстановление) свойств материального поля по изменениям, вызываемым им в окружающем пространстве. С этим нельзя согласиться. Говорить о том, что критика геометродинамики за сведение ею материи к геометрии является искажением объективного смысла этой теории [см. 11, с. 176], — это все равно что говорить об «объективно материалистическом смысле» энергетизма Оствальда на том основании, что в нем используется математически правильное соотношение между количеством вещества и его энергией. Можно по-разному относиться к геометродинамической программе, верить в возможность большей или меньшей степени полноты, с которой допустимо судить о свойствах материального поля по его «про-

Заканчивая обсуждение различных возможностей построения единой теории частиц и взаимодействий, следует еще раз подчеркнуть, что создание такой теории не означает наступления конца субъядерной физики. Уже сейчас возникают беспокоящие воображение физиков вопросы о строении самих кварков и других «суперэлементарных» частиц, о природе «дозвездного протозвездства» в окрестностях космологической сингулярности и т. д., не говоря уж о том, что совершенно неясным остается происхождение электрического заряда, «цвета», «шарма» и других характеристик частиц. Во всех развиваемых в настоящее время вариантах единой теории это просто феноменологические параметры. Что «генерирует» эти параметры, чем, в частности, порождается супергравитационный заряд, почему частицы характеризуются именно этими, а не какими-то другими величинами? По-прежнему загадочным остается факт четырехмерности пространственно-временного континуума.

Границы науки, горизонт, отделяющий наши знания от неизвестного, становятся все более широкими, а не

пространственным следам», однако, оставаясь в рамках этой программы, нельзя заменять на противоположный ее основной тезис об определяющей роли пространства по отношению к материи, так как в этом случае мы переходим к принципиально иной теории. Безусловно, в рамках теории материального поля можно изучать связь этого поля с порождаемым им изменением свойств пространства, но это уже не геометродинамический подход.

На протяжении всей жизни А. Эйнштейн был глубоко убежден в единстве природы. По существу именно эта идея, а не представление о первичности пространства и времени лежала в основе его попыток создать единую теорию поля, хотя методологические установки этого выдающегося ученого эволюционировали с течением времени, и среди его высказываний можно найти такие, которые подтверждают и ту и другую точку зрения. Тем не менее последние 40 лет жизни А. Эйнштейна были целиком отданы именно попыткам создать полностью геометризованную картину мира. Подчеркивая философскую позицию А. Эйнштейна, Дж. Уилер озаглавил свою книгу [96], посвященную изложению основных идей геометродинамической программы, «Предвидение Эйнштейна».

сжимаются «в точку», как полагают сторонники финитных концепций.

13. ПРЕКВАРКИ И «ПРАМАТЕРИЯ»

В рамках единой теории все многообразие материальных объектов и взаимодействий можно в принципе объяснить исходя всего из нескольких основных конститuentов: двух основных строительных элементов — кварка и антикварка и нескольких переносящих взаимодействие корпускул, число которых пока еще зависит от варианта теории. Однако эти частицы, и прежде всего кварки, стали очень сложными, многокомпонентными теоретическими объектами с большим числом различных физических свойств.

Всевозрастающая сложность описания «суперэлементарных» частиц подсказывает мысль о том, что по крайней мере некоторые из них, возможно, «сложены» из каких-то более простых составляющих. Каковы эти составляющие, сейчас сказать трудно. Никаких, даже косвенных, экспериментальных данных об этом еще нет. Тем не менее в литературе уже обсуждаются схемы с составными кварками.

В одной из таких схем кварки состоят из двух пре-кварков («преонов») [123, 124, 125]. Один из них очень напоминает мезон, другой — электрон и имеет анти-частицу. Оба прекварка — многокомпонентные частички. Каждый компонент несет всего лишь один «заряд». У прекварка-мезона — это одно из четырех значений «цвета», у электронного прекварка — это один из шести «ароматов». Комбинации двух таких прекварков дают те самые 24 состояния кварка, которые предложены Саламом и Пати*.

* Наиболее последовательный и элегантный с точки зрения современных принципов вариант теории, разрабатываемый этими авторами, требует приписать кварку еще одно квантовое число —

В другом варианте теории кварки состоят из трех прекварков: к двум упомянутым выше преонам, которые оба считаются теперь похожими на электрон спинорными частицами, добавляется еще прекварк «спинон», также обладающий спином $1/2$ [124].

Силы, связывающие преоны в кварковую частичку, с геометрическими размерами по крайней мере в тысячу раз меньшими размеров нуклона, должны быть исключительно сильными. Если не вводить принципиально новый (пятый) тип физических взаимодействий и считать, что внутрикварковые силы должны быть разнообразностью (расщеплением) универсального взаимодействия, из которого получаются четыре известных типа взаимодействий, то сверхсильное взаимодействие преонов можно обеспечить, приписав им наряду с электрическим еще и магнитный заряд.

Современная теория не запрещает введения магнитных зарядов, и это загадка, почему мы не наблюдаем частиц с изолированными магнитными зарядами (так называемых монополей). Как было показано еще в начале 30-х годов П. Дираком, постоянная, характеризующая взаимодействие магнитного заряда, обратно пропорциональна постоянной электрического взаимодействия, поэтому, когда последняя уменьшается (вспомним об эффективном уменьшении электрического заряда на очень малых расстояниях, о котором говорилось в § 5), магнитное взаимодействие, наоборот, должно становиться чрезвычайно сильным.

Поскольку преоны локализованы в областях $< 10^{-16}$ см, то из квантового соотношения неопределен-

ности, связанную с возможностью двух типов пространственных вращений — левого и правого. Кварк становится уже 48-компонентной частицей. Каждое из шести состояний прекварка-электрона расщепляется при этом на два, различающихся знаками зеркальности.

Эти построения имеют, конечно, еще очень предварительный характер, однако они намечают некоторую общую тенденцию.

ностей следует (см. с. 90), что эти частички, если бы удалось наблюдать их в изолированном, несвязанном виде, были бы в тысячу раз тяжелее нуклона.

Из двух или трех типов прекварков, связанных магнитным полем, можно построить все вещество окружающего мира. Однако число «первичных элементов» снова начинает возрастать. В этом видна общая закономерность: каждый раз, когда мы переходим к более глубокому уровню материи, неизменно обнаруживается многообразие новых физических объектов. Для объяснения этого многообразия приходится спускаться на следующую ступень и т. д.

Насколько далеко вглубь может идти этот процесс? На этот счет в настоящее время существуют различные, в том числе и взаимоисключающие, точки зрения. Выше уже не раз говорилось о том, что неисчерпаемость материи вовсе не эквивалентна ее бесконечной делимости на все более мелкие частицы с возрастающей степенью элементарности, хотя подобные мнения довольно часто встречаются в литературе.

Пожалуй, еще более распространена, особенно в зарубежной литературе, противоположная точка зрения: убежденность в существовании «последних элементов» или некоей единой первоосновы мира — «праматерии» («правещества»). Например, В. Паули, один из создателей современной физики, незадолго до смерти писал о том, что «опыт говорит в пользу существования последних единиц материи в согласии с представлениями атомистов Древней Греции» [126, с. 4]. В. Гейзенберг также считал, что мир — это всего лишь различные проявления некоторого исходного «праполя», в котором происходят сложные эффекты самовоздействия, что и является причиной возникновения и трансмутаций многообразных его форм.

В каждой конкретной теории, описывающей «праматерию», часть ее свойств должна постулироваться, брать-

ся за исходную. Однако это не означает, что идея «праматерии» делает беспредметной саму постановку вопроса о происхождении фундаментальных свойств мира. Постулированные на данном этапе свойства находят объяснение в последующей, более детальной теории и т. д.

Мы не будем сейчас подробно анализировать различные выражения идеи «праматерии», тем более что она восходит к глубокой древности и имеет многовековую историю. Отметим лишь, что основная методологическая трудность, с которой сопряжена эта идея (как и гипотеза любого конечного числа «последних элементов»), заключается в объяснении того, каким образом, оставаясь неразложимым далее субстратом, «праматерия» в то же время может обладать неисчерпаемым многообразием свойств.

Даже в моделях с весьма ограниченным числом рассматриваемых свойств не удастся получить все эти свойства из «уравнений самих по себе», без привлечения хотя бы одной-двух исходных «затравочных» констант. Впрочем, уже сам выбор формы уравнений — это определенное и весьма жесткое исходное допущение, выражающее на математическом языке физические постулаты о строении мира.

Между принципом неисчерпаемости свойств и понятием элементарности существует диалектическое противоречие, которое разрешается в нескончаемом потоке совершенствующегося и уточняющегося знания. Несомненно, что многие современные представления о бесконечном и изначальном претерпят кардинальные изменения. Возможно, как это подчеркивает, например, Н. И. Степанов, что понятия «вглубь», «более глубокий» по отношению к структурной делимости в конечном итоге окажутся столь же относительными, антропоморфными, как и принимавшиеся ранее за абсолютные понятия «верх» и «низ» [93, с. 128]. Как мы увидим в следующем параграфе, экстраполяция выводов общей теории отно-

сительности в известной мере подтверждает это предположение.

Следует остановиться еще на одной концепции «изначальных элементов» мира, привлекающей в последнее время особое внимание в связи с исключительным значением, которое приобрели в физической теории принципы симметрии. Роль этих принципов настолько важна, что физика элементарных частиц в настоящее время в значительной степени является наукой, изучающей различные типы симметрий и их нарушения. Отсюда некоторые физики, склонные к идеалистическим воззрениям, пришли к выводу, что именно различные типы симметрий и представляют собой истинные элементы мира — простейшие идеальные законы, определяющие структуру бытия и движения. По мнению В. Гейзенберга, «можно сказать, что современное развитие физики повернулось от философии Демокрита к философии Платона. В самом деле, именно в соответствии с убеждениями Платона, если мы будем разделять материю все дальше и дальше, мы в конечном счете приходим не к мельчайшим частицам, а к математическим объектам, определяемым с помощью их симметрии, платоновским телам и лежащим в их основе треугольникам. Частицы же в современной физике представляют собой математические абстракции фундаментальных симметрий» [37, с. 88]. «Элементарные частицы, о которых говорится в диалоге Платона «Тимей», — подчеркивает далее В. Гейзенберг, — ведь это в конце концов не материя, а математические формы... В современной квантовой теории едва ли можно сомневаться в том, что элементарные частицы в конечном счете суть математические формы, только гораздо более сложной и абстрактной природы» [36, с. 48—49]. Фундаментальные симметрии определяют форму уравнений движения материи, законы ее самодействия и в конечном счете характер взаимодействий между макроскопическими телами.

В приведенных высказываниях правильно отмечает-ся возрастающая роль законов симметрии в физике, однако свойства материальных объектов и их движения здесь отрываются от материальной основы и последняя объявляется всего лишь их проявлением. В таком понимании первичные элементы становятся фактически некоей потенциальной, нематериальной сущностью, порождающей все свойства реальных объектов. Это мало чем отличается от известных утверждений о том, что материя «растворяется в энергии»*, или от предпринимаемых в геометродинамике попыток «построить материю» из пространства и времени. Полностью сохраняет свою силу ленинское замечание о том, что «крупный успех естествознания, приближение к таким однородным и простым элементам материи, законы движения которых допускают математическую обработку, порождает забвение материи математиками. «Материя исчезает», остаются одни уравнения. На новой стадии развития и, якобы, по-новому получается старая кантианская идея: разум предписывает законы природе» [3, с. 326]. Сегодня это высказывание столь же актуально, как и в начале века.

* Кстати, иногда Гейзенберг прямо говорил о том, что «энергию можно считать основной субстанцией, первоматерией» [36, с. 48]. Согласно его точке зрения, «по теории относительности масса и энергия, в сущности, одно и то же, и поэтому можно сказать, что все элементарные частицы состоят из энергии» [36, с. 48]. Соответствие между массой и энергией, двумя конкретными свойствами материи, и ее атрибута — движения подменяется тождеством самой материи и ее атрибута, причем последний фактически рассматривается даже как более фундаментальная сущность.

Вообще говоря, высказывания типа «масса переходит в энергию», «частицы рождаются из энергии поля» и т. п. довольно часто встречаются в литературе. Как правило, это возникает в результате неаккуратного, даже жаргонного выражения известного релятивистского соотношения $E=mc^2$. Гейзенберг же подобным выражениям придавал совершенно определенный методологический смысл.

Некоторые ученые видят «естественное» ограничение бесконечного дробления структуры материи в явлении полного удержания кварков внутри частиц. По их мнению [см. 40], трудно представить, что объект может иметь внутреннюю структуру, если он даже не может быть образован; поэтому, утверждают они, если гипотеза неразделимости кварков подтвердится, проблема иерархии частиц просто потеряет смысл. С этим трудно согласиться, так как кварки могут состоять из прекварков и т. д., даже оставаясь неразделенными. Важно лишь, чтобы была принципиальная возможность экспериментально идентифицировать эти конститuentы частиц. Для кварков это можно сделать, например, в опытах с рассеянием быстрых нейтрино и электронов, которые «чувствуют» отдельные структурные частички внутри протона и нейтрона. А то, что свободная и ни с чем не взаимодействующая частица является всего лишь идеальным образом, чисто теоретической конструкцией, с этим мы встречаемся и в известной нам квантовой теории, где принципиально нельзя освободиться от виртуальных полей.

14. ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ КАК КОСМОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ

Две альтернативных концепции неисчерпаемости микромира — или бесконечная иерархия структур, или какое-то само в себе бесконечное первоначало (единая «праматерия», или бесконечное число простейших и равноэлементарных конститuentов) — не исчерпывают возможных подходов к решению этой проблемы. Еще один подход, развиваемый в последние годы главным образом в работах М. А. Маркова, связан с возможностью своеобразного «самозамыкания Вселенной», при котором одни и те же объекты можно рассматривать как элементарные частицы и в то же время как макроско-

пические тела, а в некоторых случаях даже как целые космические миры. Другими словами, могут быть ситуации, когда движение от «бóльшего» к «меньшему» может неожиданно снова привести к «бóльшему» [66, с. 169].

Еще в начале 20-х годов А. А. Фридманом было показано, что гравитационные уравнения общей теории относительности имеют решение, описывающее бесконечный, но внутренне замкнутый мир. При этом «сворачиваться», или, как сейчас говорят, коллапсировать, в замкнутый мир может система с любой массой, как с малой, так и с очень большой, если только плотность вещества в этой системе достигла некоторого критического значения. Такой коллапс будет сопровождаться возрастанием гравитационного дефекта масс, поэтому полная масса системы и ее радиус, с которыми она проявляется во внешнем пространстве, будут уменьшаться до нуля. Вместе с тем внутренний радиус системы, который видит входящий в эту систему наблюдатель, при достаточно большой исходной массе «сворачивающейся» системы может оставаться сколь угодно большим (космическим).

Однако в таких выводах общая теория относительности приводит лишь в случае полностью нейтральных систем; если же система заряжена, то полное «схлопывания» пространства-времени не получается и вместо «замкнутого мира» образуется «полузамкнутый». То же самое происходит, если система имеет вращение, обладает отличным от нуля барионным и лептонным зарядами, а также и в некоторых других случаях.

Расчеты показывают, что во внешнем пространстве «полузамкнутый мир» должен проявляться как «черная дыра» — объект, обладающий настолько сильным гравитационным полем, что он поглощает все, что на него падает, но сам ничего не излучает, даже свет. Все события, которые происходят внутри «черной дыры», оста-

ются неизвестными миру. Для находящегося вне ее наблюдателя «черная дыра» — это объект, характеризующийся геометрическими размерами и тремя интегральными величинами: массой, электрическим зарядом и угловым моментом. Все остальные характеристики «спрятаны» под гравитационным радиусом и недоступны наружному наблюдению. В частности, нельзя установить, из чего построен «полузамкнутый мир» — из вещества или из антивещества.

Понятно, что многообразие свойств материальной системы в процессе ее гравитационного коллапса не уменьшается и не исчезает, а просто постепенно ослабляется влияние этих свойств на процессы, происходящие во внешнем пространстве. Для внутреннего мира многообразие свойств системы сохраняется в полной мере.

Замечательно, что независимо от исходного значения электрического заряда полузамкнутой системы он должен быть близок к зарядам элементарных частиц, поскольку исходный заряд системы будет быстро уменьшаться в результате интенсивного рождения пар частиц в сильном электромагнитном поле «горловины», связывающей внутренний и внешний миры. Компоненты этих пар, имеющие заряд, противоположный заряду системы, будут ею захватываться и уменьшать заряд «полузамкнутого мира», а частицы с электрическим зарядом, одноименным заряду системы, будут выталкиваться в бесконечность. Аналогичное уменьшение следует ожидать также для барионного и лептонного чисел; если в силу каких-то условий физическая система с плотностью вещества, равной или большей критической, первоначально оказалась сильно несимметричной по отношению к веществу и антивеществу, то квантовые эффекты рождения пар в «горловине» приведут эту систему в практически зарядово-симметричное состояние [19, 62, 63, 121].

Проявляясь как микрообъект, полузамкнутая система в то же время может содержать внутри себя целый мир

с необозримо большим числом космических объектов. Через «горловину», макроскопическую «черную дыру», каждая такая «спрятанная» вселенная, т. е. ее пространственная структура и внутренний ритм времени, связана с внешним миром — с другой, может быть, такой же вселенной. Однако при более детальном физическом анализе эта красивая парадоксальная идея наталкивается, казалось бы, на непреодолимые трудности. Возникнув как необходимое следствие теории А. Эйнштейна, как физическая интерпретация некоторых специальных решений найденных им гравитационных уравнений*, идея замкнутых и полузамкнутых миров оставляет в стороне вопрос о том, как и при каких условиях могут образовываться в природе такие необычные по своим свойствам объекты. Одной только общей теории относительности для ответа на этот вопрос недостаточно, для этого потребовались данные других разделов физики. Оказалось, что для объектов, масса которых больше нескольких масс Солнца, гравитационный коллапс действительно должен быть естественной фазой их эволюции, поскольку стягивающие гравитационные силы в таких телах настолько велики, что никакие другие известные нам силы не могут стабильно им противодействовать. Тем не менее сжатия тела в точку и полного «выпадения» его из нашего пространства в виде замкнутого мира все же не произойдет даже при условии, что его масса очень велика. При уменьшении размеров коллапсирующего тела тяготение возрастает на-

* Следует заметить, что сам А. Эйнштейн первоначально считал выводы А. А. Фридмана о замкнутой расширяющейся Вселенной сомнительными. Однако уже через год, более тщательно проанализировав расчеты Фридмана, Эйнштейн признал их «правильными и проливающими новый свет», а еще через шесть лет американский астроном Э. Хаббл обнаружил эффект «разбегания галактик» и тем самым получил первое экспериментальное доказательство теории А. А. Фридмана. Несмотря на ее парадоксальность, эта теория быстро овладела умами физиков.

столько, что скорости передачи сигналов во внешнее пространство резко замедляются и процесс дальнейшего сжатия тела для внешнего наблюдателя прекращается. Тело навеки застывает в виде ничего не излучающей «черной дыры», и это происходит тем скорее, чем больше масса тела. Самые «легкие» тела, с массой, равной полутора-двум массам Солнца, гравитация которых еще достаточна, для того чтобы «смять» противодействующие внутренние силы, образуют «черные дыры» с радиусом 5—10 км. По астрономическим масштабам это почти точки, но до размеров микрообъектов им еще далеко. В видимой нами части Вселенной нет сил (во всяком случае нам они неизвестны), которые могли бы сжать материальное тело до размеров микроскопической «черной дыры». Тем не менее можно указать условия, при которых могло бы происходить образование полужамкнутых миров с микроскопическими параметрами. Полученные А. А. Фридманом формулы обладают сингулярностью: в некоторый «исходный» момент времени внутренний радиус мира обращается в нуль, а плотность вещества принимает бесконечно большое значение. Правда, это вывод чисто классической теории гравитации, не учитывающей квантовых и, наверное, каких-то еще других важных эффектов, но астрономические наблюдения также свидетельствуют о том, что около 20 млрд. лет назад произошел взрыв «протозвездного» вещества, породивший наш мир, который до сих пор продолжает расширяться*. В катаклизме этого «первозвездного взрыва», в колоссальных перепадах давлений

* Кроме обнаруженного Э. Хабблом «разбегания галактик» важным экспериментальным свидетельством в пользу теории «взрывного рождения» Вселенной является открытие так называемого реликтового излучения — заполняющего все космическое пространство потоков низкоэнергетических фотонов, свойства которых совпадают с предсказываемыми теорией. Реликтовое излучение — это «тепловое эхо» очень горячего состояния «юной» Вселенной.

плотностей могли возникать области очень малых размеров и такой большой массы, что вокруг них происходило почти полное свертывание пространства-времени и образовывались полужамкнутые миры субъядерных размеров.

Несмотря на малость их размеров, микроскопические «черные дыры» могут быть очень тяжелыми объектами. Например, «черная дыра» с радиусом $\sim 10^{-13}$ см, т. е. такой же величины, как и большинство элементарных частиц, должна иметь массу приблизительно в миллиард тонн. Это масса астероида с радиусом около 1 км или горы средней величины на поверхности Земли. Только у очень маленьких, ультрамикроскопических «черных дыр» с размерами $\sim 10^{-33}$ см масса такая же, как у элементарных частиц.

Долго считалось, что «черные дыры» — это абсолютные поглощающие объекты, гравитация которых удерживает даже световое излучение. Лишь совсем недавно, в начале 70-х годов, после того, как были приняты во внимание квантовые эффекты, выяснилось, что «черные дыры» вопреки их названию должны излучать в окружающее пространство. Благодаря квантовым флуктуациям вокруг «черных дыр» происходит образование электрон-позитронных пар, пар мезонов и более тяжелых частиц. Все эти частицы спонтанно рождаются из вакуума и быстро аннигилируют. Если это происходит вблизи гравитационного радиуса «черной дыры», то один из компонентов пары может ею поглотиться, тогда второй компонент, уже не имея партнера для аннигиляции, может излучиться. Гравитационная энергия «черной дыры» переходит в энергию испускаемых («разбрызгиваемых») ею потоков вещества и антивещества. Таким же образом во внешнее пространство будут излучаться электромагнитные волны, испущенные виртуальными частицами, которые затем «погибнут» в «черной дыре». Образно говоря, вокруг них происходит

как бы «вскипание» вакуума, а внешне это выглядит как постепенное испарение и стягивание «черной дыры».

По-настоящему черными, ничего не излучающими оказываются лишь макроскопические, большие «черные дыры», время жизни которых составляет 10^{60} — 10^{70} лет. Что касается микроскопических «черных дыр», то, по мере того как в результате испарения размеры их уменьшаются, «квантовое кипение» вакуума вокруг них становится все более интенсивным и мощность их излучения возрастает [114, 118]. Например, «черная дыра» с радиусом $\sim 10^{-13}$ см излучает во внешнее пространство как тело, нагретое до 100 млн. градусов. Термин «черная дыра» в применении к таким объектам становится весьма условным. Процесс нарастающего излучения может продолжаться один-два десятка миллиардов лет и заканчивается взрывом*.

Правда, расчет взрывной фазы жизни «черных дыр» основан на весьма проблематичной «сшивке» решений

* Теоретические оценки, выполненные С. Хоукингом — автором теории испаряющихся «черных дыр», показывают, что мощность излучения «черной дыры» размером $\sim 10^{-13}$ см составляет около 600 МВт, т. е. равна мощности полутора Братских ГЭС. Последнюю тысячу тонн «черная дыра» излучает всего лишь за 0,1 сек. При взрыве «черной дыры» в конце ее жизни выделяется мощность, эквивалентная одновременно взрыву почти 1 трлн. атомных бомб, подобных той, что была сброшена на Хиросиму. Это если предположить, что в последние моменты жизни «перегретой» «черной дыры» вокруг нее образуются и излучаются тяжелые элементарные частицы — кварки. Если происходит излучение еще более тяжелых частиц, то взрыв может быть еще более мощным — в сотни тысяч и даже в миллионы раз. И вся эта энергия выделяется из микроскопического объема, который намного меньше атомного ядра, концентрация энергии просто чудовищная!

Эти выводы основаны на известной гравитационной теории А. Эйнштейна. Если в природе существуют другие, не описываемые этой теорией разновидности гравитационных взаимодействий (например, так называемая сильная гравитация, о которой речь пойдет ниже), то «черные дыры» могут оставаться неизлучающими и при размерах $\sim 10^{-13}$ см [129].

уравнений А. Эйнштейна с квантовой теорией и имеет лишь оценочный характер. Строгой квантово-гравитационной теории этого явления еще не создано, поэтому многое в расчетах остается неясным. Мы не можем, например, сейчас сказать, чем заканчивается взрыв микроскопической «черной дыры». Это может быть полное испарение ее наблюдаемой массы и «схлопывание» пространства. Но может случиться и так, что где-то на уровне чрезвычайно малых масштабов излучение прекращается и образуется стабильный объект, обладающий не только микроскопическими размерами, но и микроскопической массой — такой, как у элементарных частиц.

Действительно, оценки показывают, что в областях с размерами $< 10^{-32}$ см флуктуации пространственно-временной метрики, вызванные виртуальными квантовыми процессами, становятся настолько большими, что при этом не только изменяется метрика, но могут существенно изменяться и топологические свойства пространства и времени [22, с. 282]. Масштаб $\sim 10^{-32}$ см будет в этом случае выступать как минимальная «порция» протяженности, посредством которой пространство участвует в физических процессах [19, с. 179; 63] и которая определяет минимальный размер сжимающейся при испарении «черной дыры». Масса такой предельно малой «черной дыры» соответствует энергии неустранимых нулевых, квантовых колебаний ее вещества; всю остальную ее массу уносит излучение.

Если известные нам релятивистские квантовомеханические соотношения, на основе которых получены эти выводы, действительно применимы вплоть до ультрамалых расстояний $\sim 10^{-32}$ см, то независимо от того, какова была начальная масса «черной дыры» и какова масса полузамкнутого «внутреннего мира», ее остаточная масса, по-видимому, должна составлять что-то около 10^{-6} — 10^{-5} г. Однако не исключено, что при каких-то

еще неизвестных условиях будут образовываться устойчивые объекты с еще меньшей массой вплоть до массы электрона *.

М. А. Марков предложил называть такие «миры-частицы» фридмонами, подчеркивая этим, что «изнутри» каждый из них представляет собой изменяющийся со временем, динамический фридмановский мир [66, 121]. К. П. Станюкович предпочитает называть их планконами — в честь основоположника квантовой физики М. Планка, отмечая тем самым квантовую природу этих объектов [90, 91].

В современной физической теории даже приблизительно нельзя ответить на вопрос, тождественны ли фридмоны каким-то уже известным сейчас элементарным частицам (например, нуклонам или кваркам) или же это совершенно новый тип микрочастиц, который еще только предстоит обнаружить в экспериментах. В пользу последнего, казалось, свидетельствует уже упоминавшийся выше вывод о том, что любой полужамкнутый мир независимо от его внутренних свойств проявляется во внешнем пространстве всего только четырьмя параметрами: размером, массой, электрическим зарядом и угловым моментом. Поэтому частицы, имеющие наблюдаемую сложную внутреннюю структуру, характеризующиеся странностью, барионным или лептонным числами и другими величинами, заведомо не могут быть фридмонами. На это указывает также и колоссальное

* Значение массы частицы $\sim 10^{-6}$ г получается также при сопоставлении двух минимальных размеров из общей теории относительности: радиуса «черной дыры» с массой M и радиуса «горловины» полужамкнутого мира с ядром, равным заряду электрона. Эти две величины оказываются равными лишь при условии, что $M \sim 10^{-6}$ г. Все это заставляет предполагать, что значения $M \sim 10^{-5} - 10^{-6}$ г, возможно, является наибольшей массой микроскопических объектов, обладающих свойствами элементарной частицы. Такие «самые крупные» субъядерные частицы называют сейчас максимонами [66].

различные размеры фридмонов ($\sim 10^{-33}$ см) и наблюдаемых размеров частиц ($\sim 10^{-13}$ см).

Следует, однако, иметь в виду, что вывод о «захоронении» свойств коллапсирующей системы получен без учета квантовых эффектов, способных существенно изменить этот вывод. Что касается ультрамалых размеров фридмонов, то благодаря квантовым флюктуациям вокруг «голых» фридмонов должны возникнуть «облака» виртуальных частиц, которые и образуют наблюдаемую в экспериментах структуру частицы: плотную, состоящую из тяжелых частиц (кварков, глюонов и т. п.) — в центре и рыхлую, полупрозрачную — на далекой периферии. В этом случае фридмон был бы всего лишь самой глубокой частью элементарной частицы, как бы ее «затравочным» ядром. Но именно в этом крошечном, исчезающе малом ядре может быть скрыта новая Вселенная. Как это ни парадоксально, но современная теория допускает принципиальную возможность образования микроскопического объекта, «обнимающего» космический объект.

Совсем по-другому будет выглядеть гипотеза фридмонов, если окажется, что наряду с известным дальнедействующим «слабым» гравитационным полем, квантами которого являются безмассовые гравитоны, в природе существуют еще один или несколько типов короткодействующих «сильных» гравитационных полей с массивными квантами, которые также описываются уравнениями А. Эйнштейна (с массовым членом) и в то же время характеризуются большой величиной постоянной взаимодействия. Размеры соответствующих «сильных фридмонов» могли бы быть значительно большими, чем 10^{-32} см.

Такое обобщение общей теории относительности недавно было предложено А. Саламом [132, 133]. Различные типы гравитации в его теории трактуются как результаты расщепления универсального «затравочного поля» при спонтанном нарушении суперсимметрии.

Анализ опытов по взаимодействиям частиц высоких энергий действительно указывает на возможную примесь сил, за которые ответственны частицы со спином, равным двум (как у гравитонов), и массой около двух протонных масс. Если принять эти частицы за «сильные гравитоны», то соответствующая гравитационная постоянная оказывается в 10^{37} раз больше ньютоновской постоянной, описывающей известную нам гравитацию, а размеры «сильных гравитонов» со значениями масс такими же, как у мезонов и барионов, составляют при этом уже $\sim 10^{-14}$ см — как размер ядерных элементарных частиц. Такие фридмоны, представляющие собой области сильно искривленного, почти замкнувшегося пространства, в принципе можно было бы использовать для объяснения механизма удержания кварков внутри элементарных частиц.

Полузамкнутые объекты больших размеров («сильные черные дыры») с массами, на один-два порядка превосходящими массу протона, должны испаряться путем интенсивного испускания частиц за «ядерное время» $\sim 10^{-22}$ сек. Такие объекты можно было бы отождествить с фаерболами («огненными шарами») — гипотетическими короткоживущими образованиями, которые в настоящее время часто привлекаются для объяснения экспериментальных данных в физике высоких и сверхвысоких энергий. «Сильные черные дыры», если они существуют, позволили бы объяснить, почему с помощью понятия температуры удается описать большое число различных экспериментальных данных по взаимодействиям элементарных частиц, в то время как термодинамические условия, необходимые для введения температуры, в физике элементарных частиц не выполняются.

Нельзя не согласиться с теми физиками, которые подчеркивают, что все соображения, касающиеся «слабых» и «сильных» фридмонов и соответствующих «черных дыр», имеют еще очень предварительный, во многом ги-

потетический и весьма спорный характер. Однако сама по себе возможность рассматривать структуру мироздания как систему вложенных миров, где граница между «большим» и «малым» имеет лишь относительный смысл, не зависит от того, тождественны ли фридмоны уже известным элементарным частицам или же представляют собой особые микрообразования, которые еще только предстоит открыть в экспериментах*. Теория относительноности подсказывает, что в природе в принципе есть место для удивительных объектов, обладающих самыми различными значениями масс и размеров и проявляющихся, с одной стороны, как микрочастицы с очень ограниченным числом характеристик, а с другой — как грандиозные макроскопические системы с необозримо большим числом свойств и признаков.

Если в дальнейшем окажется, что таких «одновременно микроскопических и макроскопических» объектов в природе все же не существует, это само по себе будет очень нетривиальным ответом на вопрос об «инфраструктуре» нашего мира и потребует глубокого теоретического осмысливания.

Независимо от физической достоверности (насколько мы близки здесь к реальному положению дел, покажут лишь последующие исследования) концепция самозамыкающейся иерархии «все более элементарного» чрезвычайно интересна с методологической точки зрения, поскольку она обращает наше внимание на возможность принципиально иной структуры мира, отличной от всех обсуждавшихся ранее. Конечно, трудно поверить в то, что структура Вселенной — это неограниченная последовательность тождественно повторяющихся ситуаций, когда один мир оказывается микрочастицей в другом мире и т. д. Реальное положение должно быть более сложным. Основываясь на идее о неисчерпаемости свойств

* По отношению к «обычным» микрочастицам проблема иерархии структур в этом случае по-прежнему остается открытой.

материального мира и о переходе количественных изменений в качественные, следует ожидать, что самозамыкающаяся бесконечность мира представляет собой не круг, а, образно говоря, что-то вроде витков спирали. Космос так же неисчерпаем, как и микромир.

Фридмоны — это пока только гипотеза, смелая экстраполяция известных законов теории относительности в область ультрамалых пространственных масштабов и чрезвычайно сильных полей тяготения*. Нельзя забы-

* Важным аргументом в пользу гипотезы фридмонов было бы экспериментальное обнаружение предсказываемых теорией микроскопических «черных дыр», их излучения и взрывов. Из гравитационных уравнений А. Эйнштейна и квантовомеханических оценок следует, что время жизни «черных дыр» с радиусом $\sim 10^{13}$ см составляет около $2 \cdot 10^{10}$ лет, т. е. сравнимо с «временем жизни» Вселенной. Именно эти объекты должны в настоящее время излучать наиболее интенсивно. «Черные дыры» меньших размеров уже полностью «испарились» или превратились в фридмоны. Измерения, выполненные на спутниках, действительно зафиксировали излучения, которые можно приписать «черным дырам». Однако можно найти и другие объяснения этим излучениям, так как экспериментальных данных еще недостаточно.

Если все же принять, что наблюдаемые излучения целиком принадлежат «черным дырам», то можно сделать оценку числа этих объектов в окружающем пространстве. Получается, что в кубе, сторона которого равна световому году, должно находиться около 200 микроскопических «черных дыр». Это — в среднем. А в гало нашей Галактики их может быть на пять-семь порядков больше. Это очень много; в этом случае можно было бы сказать, что Вселенная буквально наполнена микроскопическими «черными дырами». В частности, ближайшая к нам микроскопическая «дыра» должна была бы находиться примерно на таком же расстоянии, как планета Плутон.

«Черных дыр», радиус которых в сто раз превосходит радиус элементарных частиц, приблизительно в миллиард раз больше. В среднем одна такая «дыра» может находиться в кубе со стороной, равной трети светового года. Однако энергия излучения «черной дыры» уменьшается обратно пропорционально ее радиусу, и зафиксировать такое излучение на фоне других космических излучений крайне трудно.

Лучше обстоит дело с экспериментальным обнаружением больших «черных дыр» со звездными массами. В настоящее время из-

вестно и о том, что предсказание микроскопических «черных дыр» с размерами $\sim 10^{-13}$ см является непосредственным следствием общей теории относительности, в то время как предсказание фридмонов, относящееся к области предельно малых пространственно-временных масштабов, представляет собой гипотезу, выходящую далеко за рамки как общей теории относительности, так и современной квантовой теории. Проверка этой гипотезы составляет одну из самых фундаментальных проблем квантовой теории гравитационного поля. Здесь может встретиться много неожиданного. И тем не менее представление о том, что наша Вселенная, может быть, является лишь одной из огромного множества других похожих или многообразно различающихся по своим свойствам вселенных, которые в одной перспективе выглядят космически огромными, а в другой — микроскопически малыми, — это, пожалуй, наиболее важное методологическое следствие общей теории относительности. Какова бы ни была ее конкретная модельная реализация, мировоззренческое значение этой идеи, ее огромный эвристический заряд трудно переоценить. Дополненная картиной «соседствующих» миров с расщепленным вакуумом, эта идея по существу выступает как центральная и наиболее фундаментальная в той мировоззренческой революции в астрономии (космологии, если быть более точными), о которой так часто говорят в последнее время. Здесь мы имеем дело с самыми далеко идущими теоретическими предсказаниями, какие когда-либо делались в науке. Соседствующие миры могут быть совершенно различными по своим геометрическим свойствам, они могут различаться темпом течения, а возможно, в каком-то смысле даже и направлением времени. Пока у нас нет даже модельной картины «пе-

вестно несколько астрономических объектов, которые с большой долей вероятности можно отождествить с «черными дырами», хотя полной уверенности здесь тоже еще нет.

реходных явлений» на стыках таких миров, и мы почти ничего не знаем о свойствах «частиц-вселенных»; все это оставляет большой простор для фантазии*. Однако можно заведомо ожидать, что здесь мы встретимся с фундаментальными изменениями многих основных представлений о свойствах мироздания. Выводы современной релятивистской физики устраняют последние остатки антропоцентризма в космологической картине Мира.

Фридмоны не единственные «макроскопические объекты с микроскопическими свойствами», предсказываемые общей теорией относительности. Кроме частиц — полузамкнутых миров со сложной, зависящей от времени (динамической) внутренней структурой — эта теория указывает на возможность существования еще одного специфического типа микрообъектов, которые могут образоваться в результате баланса между стягивающими гравитационными силами и какими-либо расталкивающими силами, например электростатического отталкивания одноименных зарядов. В частности, если система состоит из нуклонов, то расчеты показывают, что равновесие гравитационных и электрических сил наступает, когда число нуклонов достигает $\sim 10^{18}$ [64]**; это, конеч-

* Можно задать вопрос: не является ли наша Вселенная замкнутым миром, в частности фридмоном, в каком-то другом. «обнимающем нас мире»? Из формул А. А. Фридмана вытекает, что в замкнутых и в очень близких к ним по внутренним свойствам полузамкнутых мирах имеется вполне определенное количественное соотношение между радиусом мира, т. е. измеряемым в астрономических наблюдениях размером вселенной, и плотностью распределенного в ней вещества. Современные данные о средней плотности вещества в нашей Вселенной пока приблизительно в 100 раз меньше того, что необходимо для замкнутости мира. «Пока», так как нельзя быть уверенным, что мы учли все виды вещества во Вселенной. Да и измерения плотности еще не очень точные.

** Это состояние, по-видимому, наиболее устойчиво, хотя в классической теории, не учитывающей квантовых эффектов, воз-

но, не «целый космический мир», но тем не менее величина почти макроскопическая. Как и у фридмона, геометрические размеры такой системы в состоянии с максимальным гравитационным дефектом масс (максимальным сжатием) также очень малы ($\sim 10^{-33}$ см), однако для образования «черной дыры» гравитационных сил здесь все же не хватает.

Частицы такого типа иногда называют папапетронами, по имени физика А. Папапетрона, который первым проанализировал возможность стабильных решений единой системы уравнений гравитационного и электромагнитного полей. В отличие от «черных дыр» — фридмонов, бедных наблюдаемыми (внешними) свойствами, папапетроны могут обладать неограниченным числом самых разнообразных и доступных измерению характеристик.

В состоянии с максимальным гравитационным сжатием папапетроны имеют массу $\sim 10^{-5}$ г; в этом смысле они принадлежат к упоминавшимся выше частицам — максимонам. Вокруг каждого папапетрона, так же как и вокруг затравочного ядра, должны «нарастать» «облака» виртуальных частиц, поэтому размеры папапетронов (если эти частицы действительно существуют в природе) должны проявляться в экспериментах и быть приблизительно такими же, как и у известных нам элементарных частиц.

Пожалуй, не будет преувеличением сказать, что два раздела физики определяют фарватер современных исследований: квантовая хромодинамика, изучающая глубокие взаимосвязи и структуру элементарных частиц, и применение идей общей теории относительности к субатомным процессам и астрофизическим явлениям, про-

можны и значительно большие геометрические размеры — порядка наблюдаемых радиусов элементарных частиц.

В «обычном», окружающем нас веществе 10^{18} нуклонов содержится в крупинке с диаметром, равным приблизительно 0,1 мм.

текающим в окрестности космологической сингулярности — самого грандиозного, таинственного и непонятого объекта из всех, с которыми нам приходилось до сих пор иметь дело.

Примечательно, что хромодинамика и теория гравитации — на первый взгляд очень удаленные друг от друга разделы науки — имеют много общего. И в той и в другой уравнения переносащего взаимодействия поля (поля глюонов и гравитонов) могут быть выведены, исходя из требования калибровочной инвариантности законов природы. В обоих случаях эти уравнения оказываются нелинейными, поэтому в гравитационной теории, как и в хромодинамике, существуют решения солитонного и инстантонного типов. В обеих теориях эти решения исследованы еще очень слабо. Их физический смысл, наблюдаемые эффекты, в которых они могут проявляться, — все это во многом остается еще весьма неясным.

В частности, гравитационные инстантоны, по-видимому, имеют связь с квантовыми туннельными переходами в классически полностью замкнутые миры и соответствуют ультрамикроскопическим «черным дырам» — спонтанно возникающим горловинам связи. В этом можно видеть еще одно подтверждение методологического положения о том, что в мире нет абсолютно изолированных объектов. Могут быть и другие, весьма неожиданные интерпретации решений гравитационных уравнений.

15. БЕСКОНЕЧНОСТЬ МАТЕРИИ И РАЗВИТИЕ ВСЕЛЕННОЙ

Одним из основных свойств окружающего мира является необратимость событий во времени. Ни один процесс независимо от того, кратким был он или длительным, нельзя воспроизвести в обратном порядке с абсолютной точностью во всех деталях. Даже самые простейшие физические ситуации, например упругое столкновение двух

шариков, нельзя повторить в тех же промежуточных состояниях и вернуться в точности к тому же исходному положению. Всякое состояние в мире реализуется лишь однажды. И хотя в научной и повседневной практике мы многократно воспроизводим определенные ситуации, но это воспроизведение всегда приближенно и касается только некоторых основных, важных для нас характеристических положений.

Физические теории инвариантны по отношению к направлению течения времени. Это в первую очередь обусловлено тем, что в них мы ограничиваемся рассмотрением идеализированных ситуаций с конечным числом связей (степеней свободы), а окружающий фон в лучшем случае учитываем лишь с помощью некоторых вероятностных характеристик. В реальном мире с его неисчерпаемым богатством характеристик отношения «раньше» и «позже» имеют абсолютный смысл.

Как естествоиспытателями, так и философами было затрачено немало усилий, для того чтобы найти какие-то физические явления, которые были бы «изначально, сами по себе» поляризованы во времени и которые можно было бы рассматривать в качестве абсолютных индикаторов направления течения времени. Физика элементарных частиц обнаружила «время-поляризованные» явления. Это слабые (точнее сказать — сверхслабые) взаимодействия, проявляющиеся в распадах K -мезонов. Эти взаимодействия связывают определенные — конечное и начальное — состояния системы, но если последние поменять местами, то вероятность реакции, протекающей в таком обратном по отношению к первоначальному направлении, оказывается отличной от вероятности прямой реакции. Полного восстановления начального состояния не происходит. Одно направление течения времени, как и в макроскопических процессах, выделяется по отношению к противоположному. Пользуясь такой асимметрией, можно однозначно определить направ-

ление «стрелы времени», правда весьма дорогой ценой: временной порядок событий, подобно соотношению одновременности в специальной теории относительности, оказывается зависящим от выбора системы координат, и понятия «раньше», «позже» теряют свой универсальный смысл. Такая необычная физическая ситуация реализуется в области масштабов, меньших 10^{-16} см и 10^{-26} сек, где слабые взаимодействия по своей вероятности (образно говоря, по своей «силе») сравниваются с другими типами взаимодействий [19].

На основе процессов распада нельзя инвариантно определить «стрелу времени». Однако можно думать, что если бы это даже и удалось сделать (или удалось в будущем с помощью каких-то других микроявлений), то все равно не удалось бы полностью объяснить наблюдаемую временную асимметрию макроскопических процессов, которая очень велика и не может быть обусловлена только связью с микроуровнем. Если бы это было так, то цепочки прямых и обратных событий были бы значительно ближе друг к другу, чем на самом деле.

Временная необратимость окружающего нас мира должна возникать уже в силу бесконечно большого числа связей (внутренних и внешних, жестко ретерминированных и вероятностных и т. д.) любого материального объекта вследствие бесконечности его свойств. Невозможно «перебрать» и точно воспроизвести в обратном направлении все это неисчислимо количество связей. Именно это и является подлинной причиной необратимости времени. Другими словами, асимметрия времени — это проявление свойства материи быть неисчерпаемой. Мир принципиально, в силу его имманентных особенностей, может развиваться лишь в одном направлении.

Важно подчеркнуть, что необратимость не является свойством самого времени, которое представляет собой определенное выражение изменчивости бытия движущейся материи, и в таком общем понимании безотноси-

тельно к характеру этого изменения (в частности, его направления). Категория времени прекрасно «работает» во всех физических теориях, инвариантных по отношению к изменению направления «временной стрелы». Временная необратимость — это свойство материального содержания, а не его формы. Нельзя согласиться с теми авторами, которые считают, что время само по себе, своими изначальными свойствами определяет направления и необратимость всех процессов Вселенной*.

Но если развитие мира происходит всегда в одном направлении, то имеет ли тогда какой-либо смысл говорить о различных направлениях хода времени в отдельных областях Вселенной? Чтобы ответить на этот вопрос, следует прежде всего заметить, что отношения «одновременно», «раньше», «позже» являются не универсальными, а вполне конкретными. В зависимости от условий они могут, вообще говоря, существенно изменяться и даже полностью утратить свой смысл. Так, веками считавшееся вполне очевидным и ни от чего не зависящим отношение одновременности после работ Г. Лоренца, А. Пуанкаре и А. Эйнштейна оказалось относительным и переходящим в свою противоположность при изменении системы координат. В слабых взаимодействиях, где экспериментально доказано нарушение временной четности, относительными становятся и другие аспекты временного упорядочения. Аналогичным образом трансформируются эти отношения и в теориях со сверхсветовыми частицами, где приходится допустить наличие процессов с нефиксированным, неинвариантным направлением развития, когда явление может выступать и как причина, и как следствие в зависимости

* Анализ различных подходов к проблеме асимметричного времени можно найти в монографиях Я. Ф. Аскина и Ю. Б. Молчанова [12, 69], а также в статьях Л. Г. Антипенко и Ю. Б. Молчанова [8, 68]. Связь этой проблемы с микроскопичностью и другими свойствами субатомных явлений обсуждается в книге [19].

от конкретной физической ситуации. Об определенном следовании событий во времени и «запаздывающей причинности» в этом случае можно говорить лишь в какой-то фиксированной системе отсчета. Эти характеристики физического процесса приобретают такой же релятивистский смысл, как и размеры пространственной области локализации процесса и его длительность*.

Не исключено, что будут найдены такие обобщения пространственно-временных преобразований Лоренца, что временной порядок охватываемых ими «экзотических явлений» с точки зрения современных представлений будет казаться «течением времени вспять».

Одним из самых важных результатов классической физики был вывод о том, что энтропия изолированной макроскопической системы не может уменьшаться. Любые процессы, протекающие в такой системе, в конечном итоге оказываются обязательно связанными с диссипацией энергии, выравниванием ее уровней и уменьшением числа различных состояний частей и элементов системы. Другими словами, любая изолированная макроскопическая система с течением времени неизбежно приходит в равновесное состояние. Этот вывод часто используется для доказательства неизбежности «тепловой смерти» Вселенной: устанавливающееся в отдельных ее областях статистическое равновесие будет распространяться на все большие и большие объемы, а влияние поверхностных возмущений будет становиться исчезающе малым (отношение поверхностных и объемных эффектов обратно пропорционально размерам системы)**.

* Существенно, что понимаемая в таком более широком смысле причинность сохраняет основной, свойственный ей признак — объективную информационную связь событий, их взаимное влияние, воздействие одного на другое [20].

** Некоторые ученые пытались жестко связать закон возрастания энтропии с причинно-следственной упорядоченностью событий и использовать эту связь для обоснования однонаправленности

С методологической точки зрения с таким выводом нельзя согласиться. Если предположить, что за все время своего существования материя только один-единственный раз — и то на одно мгновение по сравнению с вечностью ее существования — имела возможность дифференцировать свое движение и, таким образом, развернуть все богатство этого движения и что до этого и после этого она навеки ограничена одним простым перемещением, — это значит согласиться с тем, что материя уничтожима, а ее движение преходяще [1, с. 360]. Однако попытки каким-то образом ограничить действие закона «термодинамической деградации» макроскопических систем неизменно оказывались неудачными (критический разбор некоторых из этих попыток можно найти в работах [15, 103]) и в лучшем случае лишь указывали на трудности логического или физического характера, связанные с применением понятия изолированной системы к бесконечной Вселенной (особенно если иметь в виду нестационарность ее метрики). Эти попытки, несмотря на содержащиеся в них положительные моменты, не давали ответа на основной вопрос, поставленный парадоксом тепловой смерти: каким образом снова концентрируются диссипированные в пространстве излучения? Еще в прошлом веке Ф. Энгельс подчеркивал, что, пока не будет найден конкретный ответ на этот вопрос, все усилия разрешить этот парадокс будут по существу негодной отсрочкой векселей и увиливанием от ответа [1, с. 599].

Трудности усугублялись еще тем, что вывод о неизбежности тепловой релаксации Вселенной противоречил представлениям о бесконечном времени ее существования, так как мир должен был уже давно прийти в состояние полного статистического равновесия. Парадокс

времени. Более подробное рассмотрение этого вопроса, однако, показывает, что такой подход не может быть проведен последовательно [19].

«тепловой смерти» Вселенной не устранило и открытие А. А. Фридманом нестационарной природы Вселенной, поскольку, несмотря на все неточности астрономических и астрофизических измерений, экспериментальные данные довольно определенно указывают на однонаправленный характер ее развития.

Р. Толмен [94] был, по-видимому, первым, кто обратил внимание на то, что в рамках общей теории относительности невозможно строго удовлетворить условиям, при которых второе начало термодинамики было бы применимо ко всей эволюционирующей, расширяющейся и сжимающейся «Вселенной в целом». Это позволило утверждать, что вывод о неизбежности «тепловой смерти» Вселенной представляет собой не строгий теоретический результат, а всего лишь недостаточно обоснованную экстраполяцию. Однако убедительные примеры возможных сильных нарушений второго начала термодинамики в макроскопических областях пространства были обнаружены несколько позднее в связи с изучением физики «черных дыр». Действительно, по законам классической термодинамики невозможно даже само существование таких объектов, единственная внешняя функция которых состоит в поглощении из окружающего пространства вещества и излучения и их концентрации внутри небольшого объема. «Черные дыры» постоянно понижают энтропию окружающего мира. Неумещающейся величиной в общей теории относительности оказывается не энтропия, а суммарная площадь всех «черных дыр». Размеры «черной дыры» пропорциональны квадрату ее массы и могут лишь возрасти по мере накопления поглощаемой ею массы.

«Теорема площадей» очень похожа на второе начало термодинамики, но действует в противоположном направлении: уменьшает, а не увеличивает энтропию. Обратно говоря, это как бы «перевернутое» второе начало термодинамики. И подобно последнему, взятая в отдель-

ности «теорема площадей» в пределе бесконечного времени жизни Вселенной приводит к выводу о неизбежной смерти Вселенной, только не в результате диссипации энергии, а, наоборот, вследствие гравитационного стягивания всего вещества Вселенной в «черные дыры»*. Можно сказать, что «черные дыры» — это «космические могильники», разбросанные в пространстве. Однако теорема является точной только в рамках классической гравитационной теории «черных дыр» и теряет свою силу, если принять во внимание квантовые эффекты, уменьшающие массы и площади «черных дыр» благодаря эффекту «вскипания» вакуума, о котором шла речь в предыдущем параграфе.

«Черные дыры» — это концентраторы вещества и диссипированной энергии, возвращающие их обратно в окружающее пространство путем квантового испарения и взрывов. В отдельности к «черным дырам» неприменимы ни второе начало термодинамики, ни его гравитационный аналог — «теорема площадей». Поскольку, однако, уменьшение энтропии сопровождается увеличением площади «черных дыр» и наоборот, то можно предположить, что неубывающей величиной в действительности является их сумма**. Такое «обобщенное второе начало термодинамики» объединяет сразу три раздела физики: общую теорию относительности, термодинамику и квантовую теорию.

Космологический парадокс «тепловой смерти» Вселенной, беспокоивший физиков более столетия, в прин-

* Однако при этом следует иметь в виду, что вблизи «черной дыры» течение времени резко замедляется и с точки зрения внешнего наблюдателя поглощение вещества «черной дырой» практически прекращается.

** Более точно — линейная комбинация $P + aS$, где P — энтропия, S — площадь «черных дыр», а — универсальная постоянная, «уравнивающая» размерности P и S (эта постоянная выражается через другие, уже известные универсальные постоянные) [104, 108, 111].

ципе оказывается устранимым; в природе возможны многократно повторяющиеся процессы диссипации, последующего концентрирования, снова диссипации и т. д. Это важнейший методологический результат современной физики.

Правда, когда дело касается бесконечности — массы «всей Вселенной», неограниченной продолжительности ее жизни и других подобных, интуитивно определяемых экстраполяционных «предельных категорий», следует быть очень осторожным. Наглядные качественные представления, вытекающие из сегодняшних научных концепций, могут быть ошибочными, не говоря уже о том, что в мире нет бесконечного и однообразного повторения. Природа неизмеримо богаче любой нашей фантазии. Мир неисчерпаем не только областью микроскопических пространственно-временных масштабов, но и своими космическими формами.

Согласно современным представлениям, 15—20 млрд. лет назад Вселенная существовала в виде сгустка какой-то чрезвычайно раскаленной, сверхплотной материи*. В силу еще неясных причин этот сгусток стал быстро расширяться, а его температура резко падать. Что происходило в первые мгновения после начала этого процесса, трудно даже вообразить. Гравитационное (а точнее, единое) поле сжатой материи тогда было так велико, что пространство-время распадалось на отдельные кванты и могло «схлопываться», замыкаться в «пузыри».

Когда правящее наше миром несколько остыло, из него начали выкристаллизовываться (образно говоря, «выпадать в осадок») сначала очень тяжелые части-

* Когда говорят о «начале времени» и «рождении Вселенной», то нельзя забывать, что эти выражения условны. Пространственно-временные отношения, свойственные современному состоянию мира, в таком случае используются для описания иных состояний материи, свойства которых еще не известны и для которых представления о конечном и бесконечном могут стать просто бессмысленными.

цы, для рождения которых требуется много энергии, затем все более и более легкие. А когда плотность вещества снизилась до уровня, который существует в атомных ядрах (это в десять тысяч миллиардов раз больше плотности стали), образовались протоны, нейтроны и соответствующие античастицы. Это произошло через 10^{-4} сек. Размеры Вселенной по современным масштабам составляли в то время всего несколько десятков километров. Какая-то часть образовавшегося таким образом ядерного вещества аннигилировала и превратилась в более легкие частицы и электромагнитное излучение (наблюдаемые в настоящее время «реликтовые фотоны» — остатки этого излучения), а оставшаяся часть распалась на ядра, сконденсировавшиеся в туманности, галактики и прочие космические объекты*. Сложная цепочка ядерных процессов и конденсаций завершилась за несколько миллионов лет — мгновение по сравнению с 15—20 миллиардами лет, прошедшими с того времени, и наша Вселенная приобрела вид, близкий к современному.

Какова дальнейшая «долговременная» судьба нашего мира — будет ли он нескончаемо развиваться по законам, отражаемым общей теорией относительности, или мы имеем дело только с этапом его бесконечно многообразной истории, — это покажут исследования. Основываясь на принципе количественной и качественной неисчерпаемости природы, можно быть уверенным в том, что человечеству еще предстоит узнать о совершенно новых формах дальнейшей эволюции Вселенной.

* Интересной проблемой является асимметрия современного состояния Вселенной относительно вещества и антивещества. Согласно единым теориям поля, эта асимметрия — следствие временнeинвариантных процессов распада (подобных упоминавшимся выше распадам К-мезонов), которые по-разному происходят для частиц и античастиц и были очень интенсивными во время «горячей фазы» жизни Вселенной.

16. НЕИСЧЕРПАЕМОСТЬ СВОЙСТВ ПРОСТРАНСТВА И ВРЕМЕНИ

По своей сути пространство и время — это такие формы существования материи, в которых выражается разнообразность, устойчивость и изменчивость ее бытия. Понимаемые в таком предельно широком смысле, пространство и время представляют собой атрибуты материи — универсальные формы реализации любых материальных явлений мира. Отражая особенности бесконечно разнообразного содержания, эти формы также должны обладать неисчерпаемостью количественных и качественных характеристик, безграничной сложностью и многообразием структуры.

Как и для материального субстрата, для пространства и времени полную силу имеет проблема иерархии структурных форм, и в частности вопрос о возможном существовании наипростейших элементов — квантов Δx и Δt . Эти аспекты онтологии мира волновали умы людей еще в глубокой древности (см. монографии [14, 69]), однако особую актуальность они приобрели в наше время. Все более совершенные эксперименты, позволяющие исследовать все меньшие и меньшие пространственно-временные интервалы, впечатляющие успехи астрофизики и космологии заставляют задумываться над тем, какие изменения могут претерпеть далее привычные нам свойства пространства и времени и насколько эти мыслимые изменения можно согласовать с другими, известными сейчас физическими представлениями. Интерес к этим вопросам стимулируется также глубокими трудностями (в частности, с расходящимися выражениями), которые испытывают современные физические теории частиц и поля.

Хотя догадки о существовании в природе различных форм пространства и времени высказывали многие выдающиеся мыслители прошлого, они в течение тысяче-

летий представляли перед человеком как образец абсолютного, вечно неизменного. Ни одно явление, с которым сталкивался человек, не содержало даже намека на изменение тех основных свойств, с которыми ассоциируются понятия пространства и времени: протяженности и длительности, непрерывности, однородности и изотропии, трехмерности пространства и одномерности времени. Современная наука неизмеримо расширила наши естественные возможности, и мы можем наблюдать явления природы в гигантском интервале — от ультрамалых субъядерных расстояний $\sim 10^{-15}$ см и длительностей $\sim 10^{-25}$ сек до метagalактических масштабов $\sim 10^{23}$ км и $\sim 10^9$ лет, однако пространство и время по-прежнему демонстрируют неизменность своих основных качеств. Это поразительный факт; получается так, что целому десятку принципиально различных уровней организации материального субстрата (от метagalактики до кварков) соответствует одна и та же в своих главных особенностях пространственно-временная форма.

Представление о неизменных, повседневно ощущаемых свойствах пространства и времени фактически стало частью нашего обыденного мышления и в какой-то степени определяет наше восприятие окружающего мира. Создается впечатление, что эти свойства неотъемлемо присущи материальному миру, а неисчерпаемость и многообразие форм пространства и времени должны проявляться в каких-то других, более частных и специфических качествах. И тем не менее, несмотря на их фундаментальность, этим свойствам все же нельзя придавать статуса имманентных*. Подобно материи, прост-

* Следует заметить, что такой точки зрения придерживаются далеко не все авторы; имеется большое число работ, в которых категории пространства и времени определяются в зависимости от тех или иных наблюдаемых свойств (чаще всего в зависимости от протяженности и длительности). Критический обзор таких подходов можно найти в монографиях [19, 70, 106].

ранство и время представляют собой предельно широкие философские категории и связаны лишь с признанием факта разнородности материи, наличия моментов устойчивости и изменчивости в ее движении. Поэтому можно быть уверенным в том, что любые наблюдаемые свойства пространства и времени — это конкретные, частные свойства, хотя некоторые из них, как показывает опыт, могут быть очень устойчивыми. Развитие науки подтверждает этот вывод.

Первый «прорыв» в представлениях об универсальности наблюдаемых свойств пространства и времени можно связать с именем Н. И. Лобачевского. Именно его математические исследования установили относительный характер евклидовой геометрии, веками считавшейся единственно возможным и абсолютно точным «слепком» нашего мира, и показали принципиальную возможность качественно иных геометрических структур мира*. Эти взгляды получили дальнейшее развитие и экспериментальное подтверждение в теории относительности Г. Лоренца, А. Пуанкаре и А. Эйнштейна, и особенно после создания А. Эйнштейном гравитационной теории с ее идеями пространственно-временной кривизны, тесно связанной со свойствами материальных объектов.

Следующим чрезвычайно важным по мировоззренческому значению шагом в осознании относительности свойств пространства и времени следует считать открытие квантовой физикой материального содержания «пустого пространства» — вакуума, признававшегося до это-

* Работы Н. И. Лобачевского иногда относят к области чистой математики, а идею об искривленности реального физического пространства приписывают более поздним исследователям. С этим нельзя согласиться. Н. И. Лобачевский хорошо понимал связь полученных им результатов со свойствами реального мира и даже предпринял попытку с помощью имевшихся в его распоряжении весьма ограниченных астрономических средств экспериментально обнаружить искривленность космического пространства.

го «чистой протяженностью», а в действительности оказавшегося сложной динамической в основе физической системой, и обнаружение вероятностного («размытого») характера пространственно-временных траекторий микрочастиц на фоне такого лишь в среднем, т. е. на уровне макромасштабов, постоянного вакуума.

И наконец, пожалуй, наиболее впечатляющим свидетельством ограниченной применимости даже самых, казалось бы, фундаментальных свойств пространства и времени является открытие в конце 50-х годов неинвариантности «правого» и «левого» в микропроцессах; различие этих противоположных направлений становится здесь чисто условным, зависящим от выбора системы координат.

Это позволяет утверждать, что и другие, остающиеся пока неизменными в изученных нами явлениях свойства пространства и времени (даже такие, как размерность, протяженность и длительность) присущи лишь некоторым специфическим материальным структурам и имеют ограниченный смысл. Математика дает много примеров пространств с самыми необычными свойствами. Дисcrete (квантованные) пространства с минимальными длинами далеко не самые «дикий» среди них; существует немало типов пространств, к которым вообще неприменимо понятие длины. В каких конкретных структурах реализуются реальные пространство и время — это, конечно, вопрос эксперимента. Важно, что количественному и качественному разнообразию этих структур нет предела*.

Наряду с конфигурационным в физике рассматривается также ряд других пространств: трехмерное изотопическое пространство, восьмимерное пространство

* Читателю, которого более детально интересует, какие изменения свойств пространства и времени проявляются в современных экспериментах в области космических и особенно в области ультрамалых масштабов, рекомендуем монографии [19, 71, 106].

унитарного пространства, бесконечномерное гильбертово пространство волновых функций и т. д. Общим у всех этих объектов является лишь то, что соотношения между составляющими их элементами, определяющие инфраструктуру этих объектов, удовлетворяют требованиям, которые к понятию пространства предъявляются в современной математике. В отличие от конфигурационного другие, используемые в физике пространства принято называть концептуальными. С формальной точки зрения часто оказывается удобным рассматривать так называемое расслоенное пространство, точки которого в свою очередь являются концептуальным пространством (одним или несколькими). При этом многие теоретические соотношения удается выразить с помощью формальных, но весьма наглядных геометрических образов.

Нельзя не заметить, что по мере перехода к исследованию физических структур, все более и более удаленных от обыденной макроскопической практики, возрастает информационная емкость образов и понятий, которые приходится использовать. Это происходит как благодаря открытию новых характеристик физических объектов (т. е. увеличению «размерности» точек расслоенного пространства), так и менее тривиальным путем — в связи с усложнением структуры используемых пространств. Например, если для описания состояния классической частицы достаточно набора конечного числа чисел (параметров), то положение квантовой частицы характеризуется уже целой функцией. В классической физике для описания движения частиц достаточно весьма простого по своим свойствам евклидова пространства конечного числа измерений; в квантовой механике приходится обращаться к гильбертову пространству, точками которого являются функции.

Можно предполагать, что дальнейшее развитие физики будет связано с пространствами еще большей информационной емкости [5, 6].

Глава III

ПРОБЛЕМЫ И ТРУДНОСТИ РАЗВИВАЮЩЕЙСЯ НАУКИ

В предыдущих главах мы стремились показать, что в настоящее время нет причин естественного характера, которые устанавливали бы предел развитию фундаментальных исследований. Наоборот, фронт таких исследований имеет тенденцию к дальнейшему быстрому расширению, сдерживаемому лишь материальными условиями жизни общества.

Насколько ограничительны эти условия? Не скрывают ли они в себе причины практического конца фундаментальной науки, когда на каком-то этапе человечество не сможет продолжать такие исследования или почему-либо вообще утратит к ним интерес? В последующих разделах мы рассмотрим наиболее важные аспекты этой проблемы.

При этом, конечно, следует отдавать отчет в том, что о степени важности тех или иных аспектов можно судить лишь с точки зрения современного уровня развития цивилизации, а время может внести здесь существенные коррективы. Несомненно, в будущем возникнут новые подходы и новые трудности, о которых мы сейчас даже и не подозреваем. Поэтому речь далее пойдет не о конкретных путях развития научных исследований, а о том, насколько обоснованными являются опасения тех или иных предполагаемых причин «затухания» фундаментальной науки.

17. УСЛОЖНЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ КАК ПРИЧИНА «КОНЦА НАУКИ»

По мнению одного из наиболее известных физиков нашего времени, Р. Фейнмана, если даже признать, что природа неисчерпаема в своей основе, фундаментальные исследования все равно рано или поздно прекратятся, поскольку эксперименты становятся все более трудными и дорогостоящими, и, следовательно, процесс познания будет постепенно замедляться, растягиваться на многие годы, а получаемая при этом информация, не окупая затрат, сведется лишь к небольшим, не имеющим существенного практического значения уточнениям в общем-то уже известной картины мироздания. По словам Фейнмана, «мы будем знать о 99,9% всех явлений, но всегда будут такие явления, которые только что открыты, которые очень трудно наблюдать и которые расходятся с существующими теориями, а как только вам удалось объяснить одно из них, возникает новое, и весь этот процесс становится все более медленным и все менее интересным... Наступит время вырождения идей, вырождение того же сорта, которое знакомо географу-первооткрывателю, узнавшему, что по его следам двинулись полчища туристов» [98, с. 190, 191].

Нетрудно видеть, что аргументация Р. Фейнмана основана на двух совершенно различных положениях: на выводе о быстро прогрессирующем усложнении экспериментов и на утверждении о том, что результаты фундаментальных исследований не будут оказывать существенного влияния на жизнь общества.

Что касается усложнения экспериментов, то это действительно очень серьезное соображение. Уже сейчас в экономически развитых странах физические исследования приобрели фактически индустриальный характер, материальные затраты на них составляют заметную часть государственного бюджета. Например, затраты

на научные исследования в СССР составляют около 5% национального дохода [89]. Темпы развития науки в современном мире значительно превосходят темпы развития других областей человеческой деятельности. Если затраты на все научные исследования от Архимеда до второй мировой войны составили всего лишь несколько миллиардов долларов [29, с. 245], то в 1980 г. расходы только США и только на физику высоких энергий достигли около полумиллиона долларов; в целом же на финансирование естественных наук в 1980 г. в США затрачено приблизительно в 20 раз больше [137]. Огромные средства выделяются на фундаментальные исследования и в других странах. Так, вложения стран Западной Европы в физику высоких энергий за шесть лет (1966—1972 гг.) возросли более чем вдвое: со 127 млн. до 282 млн. долл. в год. Увеличение подобных ассигнований продолжалось и в последующие годы. В Советском Союзе расходы государства на науку за последнее десятилетие возросли приблизительно на 70% [89].

Увеличение затрат связано не только с расширением фронта исследований. Несмотря на то что благодаря новым идеям в технике эксперимента стоимость исследовательских установок время от времени резко снижается, в целом на протяжении истории развития науки наблюдается отчетливая тенденция к возрастанию стоимости и трудоемкости физических экспериментов. Каждый эксперимент требует не только современного оборудования, но и дорогостоящих проектных работ, которые в свою очередь часто бывают связаны с проведением сложных исследований. Стоимость среднего эксперимента по физике элементарных частиц в настоящее время составляет порядка миллиона рублей и, по-видимому, станет еще выше в ближайшее время.

Как уже отмечалось (см. примечания на с. 33), чем меньше пространственно-временные интервалы мы исследуем, тем большие энергии частиц мы должны при-

менять, так как только в этом случае длина дебройлевской волны взаимодействующих частиц будет достаточно мала, чтобы можно было локализовать события в интересующих нас интервалах. Именно поэтому изучение явлений микромира потребовало создания дорогостоящих ускорителей и очень сложных детектирующих устройств, которые иногда достигают размеров трех-четырехэтажного дома. К тому же десятикратное увеличение энергии ускорителя приблизительно лишь в три раза уменьшает доступные для наблюдения интервалы. Дальнейшее продвижение действительно становится все более трудным и медленным. До сих пор увеличение энергии ускорителей происходило почти экспоненциально — примерно 30—40 раз за каждые 10 лет, однако уже появились признаки снижения этого темпа.

Аналогичная ситуация складывается и в исследовании космических процессов: чем более удалены объекты исследования, тем более мощные регистрирующие приборы требуются для их изучения. Наиболее важные открытия последнего времени — квазары, космическое радиоизлучение и рентгеновские источники, пульсары — связаны именно с переходом к новым, более совершенным средствам и методам наблюдений. Стоимость исследований и время, затрачиваемое на создание новых установок, растут здесь так же быстро, как и в физике микроявлений. В целом расходы на фундаментальные исследования увеличиваются экспоненциально, удваиваясь приблизительно каждые 10 лет*.

Таким образом, человечество стоит перед альтерна-

* Считается, что на проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) в мире сейчас расходуется около 150 млрд. долл. в год [135]. В этой сфере занято около 3 млн. ученых и инженеров и в несколько раз большее число техников, лаборантов, рабочих и другого обеспечивающего и обслуживающего персонала. Однако подавляющая часть этой деятельности связана не с фундаментальными, а с прикладными, в том числе с военными, исследованиями.

тивой: либо постоянное увеличение затрат на науку, либо значительное удлинение сроков исследования.

Трудно ожидать, что экспоненциальный темп прироста затрат на науку сохранится длительное время. По-видимому, экспонента в будущем сменится более пологой кривой. В частности, нельзя не заметить, что высокая стоимость поисковых исследований в значительной степени обусловлена тем, что в основе этих исследований часто лежит прямолинейное распространение в новую область уже исчерпавших себя методов исследования. Именно таким путем, на основании все большего увеличения размеров известных систем ускорителей, развивалась в последние десятилетия, например, физика высоких энергий. Установки приобрели здесь циклопические размеры.

Вопросы о том, каков будет объем материальных ресурсов, которые человечество сможет в будущем выделять на фундаментальные исследования, в частности будут ли эти ресурсы возрастать в определенной пропорции (например, к общей энерговооруженности человечества) или же будут в среднем оставаться на каком-то постоянном «разумном» уровне, представляют собой проблему такого же порядка, как и вопрос об экспоненциальном росте потребностей в энергии, быстром истощении природных богатств и многие другие вопросы развивающейся цивилизации. Они имеют социальный, а не естественнонаучный характер и касаются «глобальных» перспектив развития и (технического) времени жизни цивилизации. Это требует еще глубокого изучения.

Безусловно, едва ли общество будет финансировать обременительные исследовательские работы, от которых нельзя ожидать ощутимых практических результатов. Однако с предположением об «асимптотическом ослаблении» практической значимости фундаментальной науки, на чем в значительной степени и основан приведен-

ный выше пессимистический вывод Р. Фейнмана, как раз и нельзя согласиться. Фундаментальные исследования с течением времени не могут стать «менее интересными», так как они представляют собой не просто количественное увеличение суммы наших знаний, как считает Р. Фейнман, а всегда связаны с проникновением во все более глубокие, скрытые от нас области мироздания, когда не просто увеличиваются «проценты» нашего знания, а открываются новые его «измерения». Именно в этом и состоит качественная неисчерпаемость Природы. Как показывает опыт, открытие качественно новой области явлений с течением времени неизменно приводит к радикальным изменениям в практической деятельности. Фундаментальные исследования не только углубляют представления об окружающем мире, но они составляют основу арсенала техники и открывают пути к новой технологии и новым видам энергии, а это всегда будет иметь первостепенное значение для человечества уже в силу того, что цивилизация должна располагать значительными энергетическими ресурсами, чтобы получить информацию, которая откроет возможность использования этих новых видов энергии* еще до того, как будут исчерпаны имеющиеся. Необходимость получения такой информации составляет одну из основных и перманентных задач цивилизации, так как в противном случае общество рискует исчерпать все доступные ему запасы энергии раньше, чем научится эксплуатировать новые.

* Общее мировое производство энергии за последние десятилетия возросло в среднем на 5% в год. Если этот темп сохранится, то энергетические потребности человечества во второй половине следующего века в 50—100 раз превзойдут современный уровень. В то же время известные источники энергии достаточны для удовлетворения вероятных потребностей общества лишь в масштабе нескольких сот, а в лучшем случае — тысячи лет. Поэтому проблема овладения принципиально новыми видами энергии является весьма актуальной.

Важно подчеркнуть, что фундаментальные исследования независимо от того, к какой области науки они относятся, всегда оказывают революционизирующее влияние на технику и другие разделы науки, и не только благодаря практическому использованию открываемых, принципиально новых явлений, но и тому, что в процессе этих исследований, выполняемых, как правило, в экстремальных условиях, разрабатываются новые приборы, оригинальные методы и неожиданная технология, которые затем находят широкое применение. Например, физика высоких энергий содействовала быстрому внедрению в электротехнику сверхпроводящих магнитов и связанной с этим технологии сверхнизких температур. Здесь впервые были разработаны методы автоматической обработки огромных массивов экспериментальной информации, получаемой в виде сотен тысяч и миллионов фотографий отдельных событий. Как показал специальный экономический анализ, работы по физике высоких энергий в Европейском центре научных исследований (ЦЕРН) в Женеве оказали влияние даже на такие, казалось бы, далекие отрасли, как сталелитейное дело и железнодорожный транспорт. Расширение продажи старых товаров, усовершенствованных в связи с выполнением заказов ЦЕРН, и продажа разработанных по этим заказам новых материалов и оборудования дали промышленным фирмам в 1955—1978 гг. доход, который превышает стоимость товаров, непосредственно проданных ЦЕРН: в области вакуумного оборудования — в 3,2 раза, в электронике — в 4,8 раза, в металлургии — в 7,3 раза, в области точной механики — в 31,6 раза [134].

Огромный экономический эффект дает использование «побочных результатов» и других разделов фундаментальной науки, в частности интенсивно развивающихся сейчас космических исследований.

Не будет преувеличением сказать, что одной из са-

мых характерных тенденций современного этапа развития науки является все более тесная связь (часто даже объединение в единые комплексы крупных научных лабораторий, занятых изучением фундаментальных вопросов) с проектными и конструкторскими бюро прикладного назначения.

Как видно, фундаментальные исследования жизненно необходимы и экономически весьма выгодны для общества. Образно говоря, фундаментальные исследования — это катализаторы научно-технического прогресса цивилизации. Поэтому можно с уверенностью сказать, что человечество никогда не утратит интереса к этим исследованиям. Что же касается того, как будут решены вопросы материальной поддержки фундаментальной науки будущего, сейчас предвидеть трудно. Прогнозы в этом направлении представляют несомненную ценность, так как исследуют пределы возможного с точки зрения наших современных представлений [108]. Во всяком случае для тех форм цивилизации, которые мы сейчас можем себе представить, прекращение фундаментальных исследований равнозначно прекращению поступательного развития. Едва ли такая, «технически замороженная» цивилизация сможет существовать достаточно долгое время.

Можно сказать, что судьба цивилизации в конечном счете — это судьба ее фундаментальной науки. Более того, можно думать, что вообще основной функцией человечества является познание, и если эта функция отомрет, как это предполагает Р. Фейнман, то существование цивилизации станет попросту бессмысленным. Еще 2500 лет назад Анаксагор отмечал, что целью жизни является теоретическое познание и происходящая отсюда свобода.

18. ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОГО БАРЬЕРА

Есть еще одна грозная опасность, которая, казалось бы, может стать тормозом не только для фундаментальных разработок, но и для науки вообще. Нетрудно видеть, что тезис о принципиальной познаваемости количественно и качественно неисчерпаемой природы содержит диалектическое противоречие: неограниченное нарастание объемов знаний должно приводить к неограниченному возрастанию потока информации, приходящейся на одного исследователя. Уже в настоящее время зачастую с трудом понимают друг друга даже те ученые, которые работают в весьма близких областях одной и той же науки. Например, физику, занимающемуся исследованием структуры атомного ядра, иногда бывает плохо понятны не только идеи, но даже и терминология, используемая участниками какого-либо семинара по теории поля. Аналогичное положение существует и в других отраслях знания.

Когда-то А. Пуанкаре сравнивал науку с постоянно пополняющейся библиотекой, где эксперимент обеспечивает новые поступления, а математика их упорядочивает и каталогизирует. Если каталог устроен хорошо, библиотека не делается от этого богаче, но читателю облегчается пользование ее сокровищами. Одновременно каталог указывает на пробелы в собраниях [84, с. 160]. Убежденность в том, что математика в качестве некоей универсальной науки может стать единым языком, связывающим и объединяющим различные разделы знания, была характерна для умонастроения многих ученых еще в начале нашего века. Однако сегодня математика сама становится все более похожей на Вавилонскую башню, на скопление автономных дисциплин, изолированных друг от друга как по методам, так и по целям и даже по языку. Сейчас нет математика, даже среди обладающих самой обширной эрудицией, который не чувствовал бы

себя чужеземцем в некоторых областях огромного математического мира [26, с. 245, 246].

Поток научно-технической информации во всем мире выражается во многих миллионах статей и препринтов в год. Он удваивается приблизительно каждые 10 лет, а в области естественных наук — каждые 2—3 года. При таких темпах к концу века за один год будет издаваться количество литературы, равное ее современному объему.

Правда, показатели ужасающе быстрого роста информации относятся ко всему ее потоку, число женастоящему важных новых результатов не так велико. Большая часть публикуемых данных имеет частное значение, представляющее интерес лишь в связи с другими работами, и быстро аккумулируется либо оказывается просто излишней, играя роль «информационного шума». Многолетняя статистика показывает, что 95% ссылок в научных работах относится всего лишь к 2% изданий — наиболее распространенных и наиболее читаемых. Тем не менее необходимость просмотра и оценки данных даже из такого, весьма ограниченного числа источников требует большого внимания и занимает все большее время*.

В этих условиях исследователь, который желает добиться успеха в своей области, как правило, сейчас просто не имеет времени, для того чтобы знакомиться, а тем более обдумывать проблемы, не связанные с темой его работы. В результате возникает множество отдельных, весьма слабо контактирующих друг с другом разделов исследования, которые иногда рассматриваются даже как новые науки.

Более того, при лавинообразном росте информации

* Изучение распределения рабочего времени среднего научного работника (например, химика), выполненное еще в середине 50-х годов в США, показало, что на получение информации он затрачивает около трети своего рабочего времени [116, с. 87].

все большая часть ее оказывается практически утерянной. В книгохранилищах скапливается большое количество изданий, которые вообще ни разу не были востребованы читателями. В библиотеке им. В. И. Ленина, например, фонд таких «забытых» изданий насчитывает миллионы наименований [34, с. 266]. В ряде случаев более экономным и более быстрым оказывается заново выполнить исследование, чем провести информационный поиск и потратить усилия на разбор, как правило, очень сжато изложенных (так называемым телеграфным языком) результатов уже выполненной работы. С этим, пожалуй, сталкивается каждый научный работник. Считается, что 60—80% инженерных решений в мире предлагается повторно. Только в США убытки от повторных разработок составляют миллиарды долларов в год [34, с. 266].

Хорошо известно, что число бит информации, содержащееся в каком-либо сообщении, само по себе мало что говорит. Например, в банальной стихотворной фразе с формальной точки зрения может содержаться больше единиц информации, чем в записи выдающегося физического закона. Однако важна не просто информация, а информация с ценностной оценкой. Недостатком большинства действующих в настоящее время информационных систем (в частности, международной системы библиографических ядерных данных — ИНИС) как раз и является то, что собираемые в них сведения не имеют индекса ценности. Поэтому при ознакомлении с новой темой значительно удобнее просто полистать последние номера журналов, выписать наиболее часто встречающиеся в них библиографические ссылки по интересующему разделу и с их помощью шаг за шагом проследить «библиографическое дерево».

Как правильно отмечают В. В. Налимов и З. М. Мульченко, между наукой и техникой существует определенный барьер — информационные потоки науки, как пра-

вило, мало доступны инженеру. «На границе этого барьера существуют специальные трансформаторы, превращающие информационные потоки науки в формы, доступные для инженеров... Фронт технических разработок, вероятно, задается не столько фронтом научных исследований, сколько состоянием и организацией систем преобразования информации» [74, с. 13]. В настоящее время большинство таких систем — это просто большая память, содержащая как важные, так и несущественные данные.

В условиях резкого увеличения потока информации не только для прикладных, но и для фундаментальных исследований исключительно важное значение приобретают различные компиляции и обзоры. Этот аспект научной деятельности быстро развивается, отвлекая, к сожалению, все большее число людей и средства от непосредственно научных исследований. Во многих научных центрах созданы специальные «реферативные группы», следящие за теми или иными актуальными направлениями исследований.

Создается впечатление, что быстрый рост накопленной информации, продолжающееся безудержное расширение потока новых данных и как следствие всего этого тенденция ко все большей и большей специализации могут привести в конце концов к измельчению и застою науки. Возникает то, что сейчас принято образно называть информационным барьером. Положение представляется настолько серьезным, что, по мнению некоторых авторов, дальнейшая судьба и сам вид цивилизации в существеннейшей степени определяются тем, какой конкретный путь изберет человечество для преодоления этого барьера.

В последнее время появилось большое число философских и социологических исследований, посвященных этой, действительно актуальной проблеме. Многие видят возможный выход в более широком использовании раз-

личных запоминающих и селективирующих кибернетических устройств, использование которых, безусловно, будет играть чрезвычайно важную роль. Огромные возможности сжатой записи и хранения информации можно видеть на примере генетического кода. Однако создание «кибернетических хранилищ информации» недостаточно для преодоления информационного барьера. Если не предполагать существенного снижения темпов накопления информации, то уже через несколько сот лет такие хранилища станут настолько большими и сложными по своей структуре, что выборка информации за разумное время станет просто невозможной.

Если же говорить о возможностях сегодняшнего дня и не слишком отдаленного будущего, то даже в тех случаях, когда дело касается сравнительно простой по своему характеру информации с физических измерительных устройств, потребности ее хранения и обработки всегда обгоняют реальные возможности, так как параллельно с ростом потребностей не только увеличивается объем требующих обработки сведений, но и существенно усложняются критерии их отбора. На практике удвоение мощности обрабатывающего центра практически никогда не означает удвоения объема перерабатываемой информации, не говоря уже о том, что создание программ обработки, возможность достаточно быстрого их усовершенствования и другие вопросы обслуживания кибернетических систем сами по себе представляют сложнейшую проблему.

Тем не менее можно думать, что информационный барьер не является непреодолимым, как это может показаться на первый взгляд, и отражает лишь одну сторону дела. Ведь по мере увеличения объема накопленной информации происходят качественные изменения в ее структуре, и, что особенно важно (подробнее об этом см. § 19), в будущем может существенно измениться сам способ научного познания природы.

Прежде всего можно с уверенностью сказать, что взрывной характер нарастания потока информации — наиболее опасный фактор с точки зрения информационного потока — представляет собой временное явление и уже в недалеком будущем приток новых сведений станет постоянным или очень медленно возрастающим в соответствии с реальными материальными возможностями общества. Но это не будет означать отмирания науки, подобно тому как стабильный прирост энергетических мощностей вовсе не означает загнивания экономики, а, наоборот, определяет ее дальнейшее развитие.

Далее. Нельзя не заметить, что наряду с процессом накопления информации идет интенсивный процесс обобщения и выработки существенно более информационно-емких идей и понятий, включающих в себя в сжатом, лаконичном виде большие объемы ранее накопленных сведений. В физике такой процесс «эффективного сворачивания» основного объема поступающей информации происходит в наше время лет за 10—15. В этом можно убедиться, наблюдая, как изменяется с течением времени частота выдачи основных физических журналов читателям научно-технических библиотек. Наибольший интерес проявляется к периодической литературе, изданной за последние 5—7 лет; заказы на журналы, вышедшие в свет более 10—15 лет назад, поступают несравненно реже. Еще более отчетливо эта тенденция проявляется в отношении репринтных изданий.

Конечно, к подобным оценкам следует относиться с осторожностью, поскольку они отражают не только процесс «сворачивания» информации, но и просто замену экспериментальных данных на более точные. Более показателен в этом отношении анализ теоретических работ. Однако и в этом случае масштаб оценки существенно не изменяется: за 10—15 лет происходит почти полное обновление моделей, используемых для описания экспери-

ментальных данных; сохраняются лишь наиболее общие построения*.

Природа едина в своей материальной основе, и мы часто с удивлением узнаем одинаковые закономерности и сходные структуры, казалось бы, в совершенно различных явлениях. Так, с помощью понятий массы, силы и ускорения в законах Ньютона было объединено все многообразие механических движений; введение понятия электромагнитного поля позволило объединить электричество, магнетизм и свет, а недавно на основе идеи каллибровочного поля к этому был добавлен еще и феномен слабых взаимодействий. При таких обобщениях каждый раз происходит «свертывание» огромного количества информации.

По мере развития науки все более интенсивным становится также процесс объединения отдельных областей знания, обусловленный общностью методов исследования. Сейчас все чаще случается так, что вновь возникающие пограничные науки выполняют роль связывающего «мостика», и методы, разработанные, например, в ядерной физике, находят применение в химии, медицине или в биологии, а стандартные методы математического анализа проникают даже в такие, «традиционно гуманитарные» науки, как психология и лингвистика.

* Другой способ получить представление о масштабе времени, в течение которого совершается переработка «первичной информации», — анализ частоты цитирования публикаций. По данным В. В. Налимова и З. М. Мульченко [74, с. 115], время, по прошествии которого частота цитирования работы снижается вдвое (так сказать, «время полустарения»), составляет в математике в среднем 10,5 года, в физике — 4,6 года, в химии — 8,1 лет.

Особенно быстро стареют публикации по прикладным, инженерным дисциплинам, где определяющим является не выработка новых концепций, а главным образом переход к использованию усовершенствованных методов и материалов. В металлургии частота цитирования опубликованной работы уменьшается вдвое в среднем всего лишь за 3,9 года, в технической химии — за 4,8 года, в инженерной механике — за 5,2 года [74, с. 115].

С этой точки зрения разделение наук на чисто гуманитарные и естественные становится довольно условным и характеризует, скорее, определенный период развития науки.

Мощный толчок разработке и распространению единых методов исследования дала кибернетика, которая не только обусловила быстрый прогресс вычислительной техники, от чего существенно зависит возможность использования таких методов, но во многом изменила и унифицировала сам подход к исследованию различных явлений природы и общества.

Поскольку именно методы, технология исследований главным образом и определяют уровень развития науки, ее способность ставить и решать задачи, то мы можем говорить о прогрессирующем процессе объединения отдельных отраслей знания; объективно идущий процесс дифференциации науки представляет собой в сущности лишь расширение фронта исследований.

Дифференциация и объединение отдельных отраслей знания представляют собой две стороны единого процесса развития науки. Каждый исследователь, занятый решением конкретных задач, неминуемо является узким специалистом, так как в противном случае он просто не сможет переработать необходимый ему объем информации, но в то же время общность методов позволяет ему достаточно быстро перейти к решению других задач — именно в этом и проявляется единство науки.

Конечно, практически неограниченное расширение фронта исследований, даже при наличии общих методов, связано с распылением усилий и в конечном счете заходит в тупик, тем более что по мере углубления знаний научные исследования требуют все большей концентрации материальных ресурсов. Поэтому возникает сложная проблема приоритета исследований — отбора наиболее важных и перспективных тем, изучение которых позволило бы сделать обобщения, охватывающие и пер-

воначально пропущенные близлежащие направления. Другими словами, с течением времени существенно возрастет роль планирования науки и того, что сейчас иногда называют «административным началом» в науке; эта сторона дела приобретает не менее важное значение, чем само научное исследование. В частности, в таких быстро развивающихся и связанных с большими материальными затратами областях, как астрофизика и физика элементарных частиц, вопросы организации научных исследований уже сейчас стали одной из основных проблем.

19. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЯВЛЕНИЙ ПРИРОДЫ КАК ОДИН ИЗ СПОСОБОВ ЕЕ ПОЗНАНИЯ

Предохраняя науку от застоя, процесс «свертывания» информации путем перехода к следующему уровню познания и развивающаяся универсализация методов исследования еще, по-видимому, недостаточны для радикального преодоления трудностей информационного барьера.

Насколько далеко может идти такой процесс обобщения и не наступит ли время, когда образы и понятия, используемые для описания явлений, станут настолько абстрактными и сложными, что для их понимания потребуются чрезвычайно обширные комментарии, через которые человек просто не сможет пробиться в силу ограниченности своей жизни? Например, по мнению Е. Вигнера, определено «существует предел, выше которого сжатость изложения, сколь бы возвышенной она ни была, как самоцель перестает быть полезной для хранения информации» [32, с. 174]. Вигнер убежден в том, что «для понимания все расширяющегося круга явлений в физику необходимо вводить все более и более глубокие понятия и этот процесс не завершается открытием окончательных, абсолютных понятий», пригод-

ных «для полного описания неодушевленной природы» [32, с. 175]. Следствием такого процесса должно быть установление пределов нашей способности воспринимать окружающее, что будет знаменовать радикальный поворот в развитии науки, после которого оно может происходить в основном лишь путем перехода в новые области исследования. А это опять-таки связано с неограниченным увеличением объема информации.

Было бы преждевременно судить о том, какие конкретные пути выберет человечество для решений этой фундаментальной проблемы. Экстраполяция или какое-либо простое обобщение известных нам сейчас взглядов и представлений здесь едва ли приведет к успеху.

Возможно, что выход из «информационного тупика» будет связан с изменением самого подхода к исследованию явлений и переосмысливанием того, что означает «понять» или «объяснить» какой-либо процесс или явление. Суть познания состоит в воспроизведении объективной реальности с помощью органов чувств и мышления, однако формы и способы этого воспроизведения могут быть различными. Если до сих пор идеалом объяснения было установление непрерывной аналитической цепочки от данного явления к наипростейшим известным нам закономерностям*, то сейчас все чаще «понять явление» становится равнозначным умению построить его достаточно точную модель, которая давала бы возможность предсказывать его изменения в зависимости от изменения окружающей обстановки. При этом совершенно не обязательно знать все детали модели. Отдельные блоки могут выбираться непосредственно из опыта и представлять собой в сущности «черные ящики», детальное зна-

* Вместе с тем следует отметить, что в современной науке процедура понимания не получила строгой логической формулировки. Понски такой формулировки наталкиваются на серьезные трудности. Более подробно с вопросом о том, что в современной науке считается объяснением, можно познакомиться в обстоятельных статьях [30, 79].

ние структуры которых в принципе вполне возможно, но несущественно для моделирования данного, конкретного процесса или явления. Образы и понятия определенного уровня в этом случае в значительной степени выражаются непосредственно через такие эмпирические узловые блоки, внутри которых могут быть «свернуты» огромные объемы информации.

Можно думать, что переход от детального аналитического описания явлений природы к их непосредственному моделированию как основному способу познания означает качественно новую ступень развития науки, когда образование и восприятие новых понятий не потребуют последовательного преодоления всей иерархии уже имеющихся представлений и физических образов, а будут в основном результатом непосредственного рассмотрения соответствующих свойств, результатом выработки «физической» интуиции на данном уровне.

Конечно, было бы неправильно утверждать, что такой «модельно-имитационный подход» полностью исключает математические методы. Сейчас уже нет сомнений в том, что все разделы нашего знания доступны точному математическому анализу. Правда, методы такого анализа могут весьма отличаться от того, к чему мы привыкли в таких «классически точных науках», как механика или астрономия. В частности, даже в физике зачастую приходится иметь дело с явлениями, которые очень трудно описать на языке систем уравнений. В настоящее время все большее распространение находят вероятностные математические модели исследуемого явления, где каждый раз модель явления реализуется в некотором кибернетическом устройстве в соответствии с законами вероятности, а строгие закономерности, присущие данному явлению, обнаруживаются лишь при многократном его повторении. При этом отдельные блоки («информационные узлы»), входящие в состав модели, опять-таки берутся непосредственно из эксперимента.

Что касается уравнений других, привычных нам аналитических методов, то они, по-видимому, как и прежде, останутся важным средством анализа отдельных деталей исследуемых явлений и будут использоваться для лаконичного выражения некоторых общих концепций и представлений об окружающем мире, возникающих в результате исследований. Очень важно подчеркнуть, что познание явлений природы методом моделирования, непосредственно или математически, не означает отказа от выявления подлинной картины реальности, от рассмотрения ее внутренней сущности. Это не просто внешнее подражание природе, а способ проникновения в ее закономерности, и, как показывает уже накопленный опыт, способ очень эффективный.

Можно ли, хотя бы в какой-то очень общей форме, предугадать характер научных проблем, которые будут интересовать человечество, скажем, через несколько сот или через тысячу лет? Несмотря на фантастичность этого вопроса, некоторое представление о возможных проблемах далекого будущего можно получить уже путем экстраполяции современного состояния науки. Подобно тому как древнеегипетский жрец, дав волю своему воображению, мог предвидеть, что через тысячу лет люди «достанут Луну», будут летать, как птицы, и плавать, подобно дельфинам, мы также можем предположить, что в будущем человечество в несравненно большей степени, чем сейчас, овладеет пространством и временем. В научно-фантастических романах нет недостатка в различных «нуль-транспортировках», «Т-переходах» и других способах «покорить» пространство-время. Аналогичным образом можно экстраполировать современные кибернетические проблемы.

Однако едва ли жрец в Древнем Египте, воспитанный в духе созерцательной науки, смог бы предвидеть, что в наше время наука станет одной из сторон активной человеческой деятельности и в массовом масштабе

будет сама создавать необходимые условия для своих наблюдений. Но именно эта особенность современной науки, а не конкретные инженерные достижения в виде самолетов, подводных кораблей и т. п. является наиболее характерной ее чертой. Вид науки, характер ее проблем отражают материальные условия жизни общества.

Высказывается мысль о том, что в цивилизации, которая будет существовать через тысячу лет, полностью утратятся различия между искусственным и естественным. Несомненно, что это существенным образом скажется на способах и стратегии научного познания. Веще более далекой перспективе можно предвидеть проблемы создания искусственных миров путем воздействия на основные физические константы. Вполне возможно, что в этих прогнозах мы похожи на неандертальца, размышляющего о судьбах мира, но так уж устроен человек — он не может не задумываться о будущем.

20. ГНОСЕОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ПРОБЛЕМЫ НЕИСКЕРПАЕМОСТИ СВОЙСТВ МАТЕРИИ

Можно ли с уверенностью гарантировать адекватность наших знаний существующему вне и независимо от нас реальному миру, и не получится ли так, что, уточняя наши знания, мы в действительности все более и более удаляемся от реального положения вещей в область конструируемого теоретического мира? Можно ли воссоздать картину бытия, которая описывалась бы не в терминах «проекции», зависящих от особенностей человека как специфически макроскопического субъекта, а содержала бы более сложные, непосредственно не связанные с органами чувств физические образы и лишь с помощью специальной переходной теории — транслятора проецировалась бы на ощущения, дарованные нам природой? Будучи выраженной в определенных понятиях и образах, такая картина представляла бы собой,

конечно, субъективный образ реальности, однако была бы независимой от специфики органов чувств познающего субъекта и безотносительной к каким-либо средствам ее наблюдения. Возможна ли подобная «гносеологическая инвариантность»?

Можно быть уверенным, что совершенствование физических теорий, переход ко все более абстрактным, формализованным формам знания позволяют более точно выразить, а главное, воспроизвести в экспериментах его скрытые от непосредственного наблюдения особенности. С этой стороны нет никаких ограничений для довольно точного и детального познания мира.

Мир познаваем во всех его аспектах, в нем нет каких-либо полностью изолированных, не взаимодействующих с внешним окружением и потому абсолютно ненаблюдаемых и непознаваемых вещей. Полностью замкнутые, не проявляющие своих свойств объекты, «сущности без явлений», могут быть лишь в теории — как результат абстракции, приближенного выделения лишь части имеющихся в природе связей. Наличие таких конструкций в теории следует рассматривать как один из ее парадоксов, поскольку, с одной стороны, такая теория утверждает существование определенных материальных объектов, описывает их внутренние свойства, а с другой — все эти утверждения являются по существу бессодержательными, ибо, согласно той же теории, их в принципе нельзя проверить. Правда, мы можем проверить на эксперименте другие выводы и следствия теории и тем самым, убеждаясь в их справедливости, косвенно проверить предсказания этой теории относительно свойств ненаблюдаемых объектов, однако это не устраняет противоречия.

Ярким примером подобного противоречия может служить предсказание общей теории относительности о существовании в природе полностью замкнутых миров, не имеющих внешних причинно-следственных связей и пред-

ставляющих собой подлинную кантовскую «вещь в себе». Существование таких миров — строгий результат классической теории А. Эйнштейна, но сохранится ли этот результат, в частности, при учете квантовых явлений с их «размытыми» в пространстве и во времени виртуальными процессами — это совершенно не ясно. На основании методологических соображений можно утверждать, что вывод об абсолютно ненаблюдаемых мирах представляет собой следствие незаконной экстраполяции конкретной научной теории «как угодно далеко в нуль» и что последующие уточнения теории должны изменить этот вывод и превратить «замкнутые» миры, если такие удивительные объекты действительно существуют в природе, из «вещи в себе» в «вещь для нас».

Есть еще одна очень важная сторона проблемы неисчерпаемости свойств материи: не получится ли так, что по мере перехода к следующим, все более информационно-емким уровням познания образы и понятия, отражающие свойства материального мира, станут настолько сложными, что человеческий мозг уже не сможет их воспринять? Проблема неисчерпаемости материи в этом случае потеряла бы всякий практический смысл, поскольку мы были бы не способны полностью понять окружающую нас природу и должны были бы примириться с существованием недоступных познанию свойств и явлений. Говоря словами Е. Вигнера, в такой ситуации «нам не остается ничего другого, как молча признать, что наше мышление не позволяет нам прийти к удовлетворительной картине мира, которую тщетно мечтали построить с помощью чистых рассуждений еще древние греки» [32, с. 176].

Способности человеческого мозга, как и любой конечной системы, ограничены объемом памяти, скоростью запоминания и считывания информации, а следовательно, и возможностью оперировать с достаточно сложными картинками и ситуациями, которые будут восприни-

маться как совокупности отдельных, разрозненных фрагментов. Не вызывает сомнений, что уже в недалеком будущем теории и модели явлений, реализующиеся в самообучающихся и самоорганизующихся кибернетических системах, могут быть настолько сложными, что станут практически неисчерпаемыми, и мы вынуждены будем рассматривать их в «сжатом виде» как некоторые «черные ящики». Однако это еще очень далеко от пределов человеческой абстракции. Где эти пределы, сейчас трудно даже сказать.

Главное же состоит в том, что речь идет не о принципиальных, а только о практических границах, которые будут раздвигаться по мере развития науки. Эти ограничения того же порядка, как и пределы познания, обусловленные продолжительностью жизни любой цивилизации. Невозможность исследования материального мира одним способом не исключает обнаружения других путей познания. В этом смысле предположение какой-либо ограниченности человеческих возможностей в познании природы представляется безосновательной, чисто логической возможностью. Пожалуй, здесь самое время остановиться, так как иначе мы вступим в область догадок и фантастических гипотез. Можно лишь предполагать, что развитие цивилизации пойдет путем качественного самоизменения, а не путем ее бесконечного расширения.

Стремление к познанию заложено в натуре человека. Эта потребность подталкивает его к преодолению любых трудностей. Согласно легенде, Прометей похитил огонь, принес его людям, а боги жестоко и навечно наказали его за это. Адам и Ева вкусили яблоко с дерева познания, и уже новый бог так же жестоко и навечно приговорил их к мукам. Легенда повторилась. Познание требует жертв. Знание надо оплачивать. Приобретая власть над природой, люди чего-то лишаются — не временно, а навсегда. Это потери вечные, приносящие муки

и страдания. Познание таит в себе горечь, отраву, оно несовместимо с раем. Знания меняют структуру человеческой души, но человек не в силах отказаться от этих мук. Этими словами Д. Гранина из его замечательного рассказа «Размышления над портретом, которого нет» мы и закончим обсуждение границ науки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Темп развития науки возрастает буквально на наших глазах. Не будет преувеличением сказать, что сейчас каждое одно-два десятилетия совершаются открытия, существенно уточняющие и изменяющие наши представления об окружающей природе и месте, которое мы в ней занимаем.

Данные современного естествознания подтверждают тезис диалектического материализма о «временном, относительном, приблизительном характере всех... *вех* познания природы прогрессирующей наукой человека» [3, с. 277]. Мир вполне познаваем как в целом, так и в деталях, однако любую научную картину мироздания следует рассматривать как относительную истину, которая будет уточняться и совершенствоваться в ходе дальнейшего изучения. Никаких принципиальных преград и ограничений на этом пути нет — ни со стороны возможности как угодно глубоко проникнуть в сущность всех вещей и явлений, реализующихся в природе, ни со стороны возможности когда-либо исчерпать многообразие этих вещей и явлений.

Еще сто лет назад Ф. Энгельс писал о том, что «люди стоят перед противоречием: с одной стороны, перед ними задача — познать исчерпывающим образом систему мира в ее совокупной связи, а с другой стороны, их собственная природа, как и природа мировой системы, не позволяет им когда-либо полностью разрешить эту задачу. Но это противоречие не только лежит в природе

обоих факторов, мира и людей, оно является также главным рычагом всего умственного прогресса и разрешается каждодневно и постоянно в бесконечном прогрессивном развитии человечества — совершенно так, как, например, известные математические задачи находят свое решение в бесконечном ряде или непрерывной дробе» [1, с. 36]. Анализ онтологических и гносеологических аспектов современной науки показывает, что этот важнейший мировоззренческий и методологический вывод философии диалектического материализма в полной мере сохраняет свою силу и сегодня.

Наука вышла на безграничные просторы космоса и проникла глубоко внутрь элементарных частиц, и на этом пути не обнаружено никаких данных, которые хотя бы в какой-то степени свидетельствовали об ограниченности принципа количественной и качественной неисчерпаемости материального мира. Утверждения о возможности полного познания принципиальных законов природы и приближения «естественного конца» фундаментальной науки не выдерживают критики*. Наоборот, все более актуальной становится другая проблема. Число новых вопросов, касающихся строения и свойств окружающего мира, возрастает так быстро, что человечество должно выработать новую стратегию научного познания, для того чтобы «не растеряться» в безбрежном океане непознанного.

* В предыдущих главах говорилось о том, что финитные гипотезы конца науки проникают даже в научно-популярную литературу, и в качестве одного из примеров приводилась книга известного советского популяризатора науки В. Н. Комарова [50]. Недавно вышла его новая интересная книга [51], где на основе большого числа астрономических и астрофизических данных автор приходит к выводу о количественной и качественной неисчерпаемости материи. В образной форме этот вывод формулируется В. Н. Комаровым как «неизбежность все более странного мира».

ЛИТЕРАТУРА

1. Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 20.
2. Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 21.
3. Ленин В. И. Поли. собр. соч., т. 18.
4. Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 29.
5. Акчури И. А. Теория элементарных частиц и теория информации.— Философские проблемы физики элементарных частиц. М., 1963.
6. Акчури И. А. Единство естественнонаучного знания. М., 1974.
7. Андерсон Дж. Квантование общей теории относительности.— Гравитация и относительность. М., 1965.
8. Антипенко Л. Г. Вселенная и «стрелы времени».— Философские проблемы астрономии XX века. М., 1976.
9. Амбарцумян В. А., Казютинский В. В. Революция в астрономии и ее взаимосвязь с революцией в физике.— Там же.
10. Аристотель. Соч. в 4-х томах, т. 1. М., 1976.
11. Аронов Р. А. К проблеме взаимоотношения пространства, времени и материи.— Вопросы философии, 1978, № 9.
12. Аскин Я. Ф. Проблема времени. М., 1966.
13. Ахиезер А. И., Готт В. С. Философский анализ эволюции физической картины мира.— Философские основания естественных наук. М., 1976.
14. Ахундов М. Д. Проблема прерывности и непрерывности пространства и времени. М., 1974.
15. Баженов Л. Б., Лебедев В. П. Второе начало термодинамики и проблема развития Вселенной.— Философские проблемы астрономии XX века.
16. Барашенков В. С., Блохинцев Д. И. Ленинская идея неисчерпаемости материи в современной физике.— Ленин и современное естествознание. М., 1969.
17. Барашенков В. С., Блохинцев Д. И. Ленинская идея неисчерпаемости материи в современной физике.— Физическая наука и философия. М., 1973.

18. Барашенков В. С. Пространство и время без материи?— Вопросы философии, 1977, № 9.
19. Барашенков В. С. Проблемы субатомного пространства и времени. М., 1979.
20. Барашенков В. С. Причинность в сверхсветовых процессах.— Сообщение ОИЯИ Р2-13029. Дубна, 1980.
21. Блохинцев Д. И. Книга В. И. Ленина «Материализм и эмпириокритицизм» и современные представления о структуре элементарных частиц.— Успехи физических наук, 1959, т. 69, с. 3.
22. Блохинцев Д. И. Пространство и время в микромире. М., 1970.
23. Бриллюэн Л. Теория информации и ее приложения к фундаментальным проблемам физики.— Развитие современной физики. М., 1964.
24. Бриллюэн Л. Научная неопределенность и информация. М., 1966.
25. Бриллюэн Л. Новый взгляд на теорию относительности. М., 1972.
26. Бурбаки Н. Очерки по истории математики. М., 1963.
27. Бутаков А. А. К вопросу о субординации взаимодействий элементарных частиц.— Вопросы философии, 1968, № 11, с. 68.
28. Вайскопф В. Квантовая теория и элементарные частицы.— Успехи физических наук, 1966, т. 90, с. 513.
29. Вайскопф В. Физика в двадцатом столетии. М., 1977.
30. Васильева Т. Е. и др. К постановке проблемы понимания в физике.— Вопросы философии, 1978, № 7.
31. Вебер Дж. Гравитационные волны.— Гравитация и относительность. М., 1965.
32. Вигнер Е. Этюды о симметрии. М., 1971.
33. Виц Б. Б. Демокрит. М., 1979.
34. Волков Г. Н. Социология науки. М., 1968.
35. Гейзенберг В. Философские проблемы атомной физики. М., 1953.
36. Гейзенберг В. Физика и философия. М., 1963.
37. Гейзенберг В. Развитие понятий в физике XX столетия.— Вопросы философии, 1975, № 1.
38. Гегель. Соч., т. IX. М.—Л., 1932.
39. Гинзбург В. Л. Астрофизика и новые физические законы.— Философские проблемы астрономии XX века.
40. Глэшоу Ш. Кварки с цветом и ароматом.— Успехи физических наук, 1976, т. 119, с. 725.
41. Готт В. С. Философские вопросы физики. М., 1972.
42. Денисов В. И., Логунов А. А., Мествиришвили М. А. Полевая теория гравитации и новые представления о пространстве и времени.— Препринт ИЯИ АН СССР П-0153. М., 1980.

43. Денисов В. И., Логунов А. А. Имеет ли общая теория относительности классический ньютоновский предел? — Препринт ИФВЭ 80—82. Серпухов, 1980.
44. Дышлевый П. С. Материалистическая диалектика и физический релятивизм. Киев, 1972.
45. Захаров С. Д. и др. Физика наших дней. М., 1977.
46. Инфельд Л., Плебаньский Е. Движение и релятивизм. М., 1962.
47. Казютинский В. В. Революция в астрономии. М., 1968.
48. Касасонов Ю. В. США: военное программирование. М., 1972.
49. Колмогоров А. Н., Тихомиров В. М. ϵ -энтропия и ϵ -емкость множеств в функциональных пространствах. — Успехи математических наук, 1959, т. 14, с. 3.
50. Комаров В. Н. Новая занимательная астрономия. М., 1972.
51. Комаров В. Н. Вселенная видимая и невидимая. М., 1979.
52. Компанец А. С. Может ли окончиться физическая наука? М., 1967.
53. Компанец А. С. К вопросу о том, может ли окончиться физическая наука. — Философские науки, 1972, № 3.
54. Кун Т. Структура научных революций. М., 1975.
55. Ландау Л. Д., Лившиц Е. М. Теория поля. М.—Л., 1948.
56. Логунов А. А. и др. Новые представления о пространстве-времени и гравитации. — Теоретическая и математическая физика, 1979, т. 40, с. 291.
57. Лурье С. Я. Теория бесконечно малых у древних атомистов. М.—Л., 1935.
58. Лурье С. Я. Демокрит. Тексты. Перевод. Исследования. Л., 1970.
59. Маковельский А. Досократики, ч. 1. Казань, 1919.
60. Маковельский А. Досократики, ч. 3. Казань, 1919.
61. Марков М. А. О современной форме атомизма (о будущей теории элементарных частиц). — Вопросы философии, 1960, № 4.
62. Марков М. А. Замкнутость Вселенной и законы сохранения электрического, барионного и лептонного зарядов. — Сообщение ОИЯИ Д2-4534. Дубна, 1969.
63. Марков М. А. К теории фридмонов (о роли гравитации в теории элементарных частиц). — Сообщение ОИЯИ Р2-5289. Дубна, 1970.
64. Марков М. А., Фролов В. П. О минимальных размерах частиц в общей теории относительности. — Теоретическая и математическая физика, 1972, т. 13, с. 41.
65. Марков М. А. Будущее науки. — Успехи физических наук, 1973, т. 111, с. 719.
66. Марков М. А. О природе материи. М., 1976.

67. Мицкевич Н. В. Космология, релятивистская астрофизика и физика элементарных частиц. — Философские проблемы астрономии XX века.
68. Молчанов Ю. Б. Необратимые процессы и направление времени. — Философские проблемы астрономии XX века.
69. Молчанов Ю. Б. Четыре концепции времени в философии и физике. М., 1977.
70. Мостепаненко А. М. Проблема универсальности основных свойств пространства и времени. Л., 1969.
71. Мостепаненко А. М. Пространство и время в макро-, мега- и микромире. М., 1974.
72. Мостепаненко А. М. Методологические и философские проблемы современной физики. Л., 1977.
73. Наан Г. И. Понятие бесконечности в математике и космологии. — Бесконечность и Вселенная. М., 1969.
74. Налимов В. В., Мульченко З. М. Наукометрия. М., 1969.
75. Овчинников Н. Ф. Категория структуры в науках о природе. — Структура и формы материи. М., 1967.
76. Омельяновский М. Э. Диалектика в современной физике. М., 1973.
77. Пахомов Б. Я. О критерии относительной элементарности. — Философские проблемы физики элементарных частиц. М., 1963.
78. Петров А. З. Современное состояние развития теории гравитационного поля. — Философские проблемы теории тяготения Эйнштейна и релятивистской космологии. Киев, 1965.
79. Печенкин А. А. Принцип объяснения. — Методологические принципы физики. М., 1975.
80. Планк М. От относительного к абсолютному. — Под знаменем марксизма, 1925, № 7.
81. Платон. Соч. в 4-х томах, т. 2. М., 1970.
82. Попов В. Н. Континуальные интегралы в квантовой теории поля и статистической физике. М., 1976.
83. Природа материи. — Успехи физических наук, 1965, т. 86, № 4.
84. Пуанкаре А. Наука и гипотеза. М., 1904.
85. Румянский П. М. Философия и физика микромира. Кишинев, 1973.
86. Свечников Г. А. Бесконечность (неисчерпаемость) материи. М., 1965.
87. Свидерский В. И. Некоторые вопросы диалектики изменения и развития. М., 1965.
88. Свидерский В. И., Кармин А. С. Конечное и бесконечное. М., 1966.
89. Советские ученые — народному хозяйству. — Правда, 14 декабря 1979 г.

90. Станюкович К. П. Гравитационное поле и элементарные частицы. М., 1965.
91. Станюкович К. П. Пространственно-временные интерпретации моделей «Вселенной» А. Эйнштейна и А. Фридмана.— Пространство и время в современной физике. Киев, 1968.
92. Степанов Н. И. Гносеологические проблемы естествознания.— Философия и физика. Воронеж, 1974.
93. Степанов Н. И. Концепция элементарности в научном познании. М., 1976.
94. Толмен Р. Относительность, термодинамика и космология. М., 1974.
95. Уилер Дж. Гравитация, нейтрино и Вселенная. М., 1962.
96. Уилер Дж. Предвидение Эйнштейна. М., 1970.
97. Управление, информация, интеллект. М., 1976.
98. Фейнман Р. Характер физических законов. М., 1968.
99. Фок В. А. Теория пространства, времени и тяготения. М., 1950.
100. Френкель А., Бар-Хиллел И. Основания теории множеств. М., 1966.
101. Фридман Д., Ван Хьювейхейзен П. Супергравитация и унификация законов физики.— Успехи физических наук, 1979, т. 138, с. 135.
102. Хэндлер Ф. Зачем нам нужна наука.— Химия и жизнь, 1974, № 8.
103. Цицин Ф. А. Понятие вероятности и термодинамики Вселенной.— Философские проблемы астрономии XX века.
104. Черные дыры. Сб. статей (пер. с англ.). М., 1978.
105. Чечев В. П., Крамаровский Я. М. Радиоактивность и эволюция Вселенной. М., 1978.
106. Чудинов Э. М. Теория относительности и философия. М., 1974.
107. Чудинов Э. М. Природа научной истины. М., 1977.
108. Шкловский И. С. Вселенная, жизнь, разум. М., 1973.
109. Эйнштейн А. Влияние Максвелла на развитие представлений о физической реальности.— Эйнштейновский сборник. М., 1966.
110. Эйнштейн А. Проблема пространства-поля-эфира в физике.— Русско-германский вестник науки и техники. Ежемесячный орган русско-германского общества «Культура и техника». Берлин—Москва, 1930, № 1-3.
111. Bekenstein J. Black holes and entropy.— Phys. Rev., 1973, v. D 7, p. 2333.
112. Burbidge G. Was there really a big bang?— Nature, 1971, v. 233, p. 36.
113. Chew G. F. What is the nucleon?— Proc. of the intern. conf. on nucleon structure. Stanford, USA, 1963.

114. Gibbons G. W., Hawking S. W. Cosmological event horizons, thermodynamics and particle creation.— Phys. Rev., 1977, v. 15 D, p. 2738.

115. Glendenning N., Karant Z. Can the hadronic mass spectrum be discovered through high-energy nuclear collisions?— Phys. Rev. Lett., 1978, v. 40, p. 374.

116. Halbert M. N., Ackoff R. J. An operations research study of the dissemination of scientific information. Preprint of papers for the Intern. Conf. on Scientific Information. Washington, 1958, Nov. 16—21, Area 1.

117. Hamer C. J., Fautsch S. C. Determination of asymptotic parameters in the statistical bootstrap model.— Phys. Rev., 1971, v. D 4, p. 2125.

118. Hawking S. W. Particle creation by black holes.— Commun. Math. Phys., 1975, v. 43, p. 199.

119. Hoyle F., Narlikar J. V. On the nature of mass.— Nature, 1971, v. 233, p. 41.

120. March A. Die physicalische Erkenntnis und ihre Grenzen. Braunschweig, 1955.

121. Markow M. A. Elementary particles of the largest masses (quarks, maxims).— JINR communication E2—2973. Dubna, 1966.

122. Panofsky W. K. H. Electromagnetic interactions.— Proc. of the Heidelberg intern. conf. on the elementary particles. Amsterdam, 1967.

123. Pati J. C., Salam A. Lepton number as the fourth. «color».— Phys. Rev., 1974, v. 520, p. 275.

124. Pati J. C., Salam A., Strathdee J. Are quarks composite?— International centre for theoretical physics report IC/75/139. Trieste, 1975.

125. Pati J. C., Salam A. Quarks, leptons and pre-quarks. International centre for theoretical physics report IC/75/106. Trieste, 1975.

126. Pauli W. Aufsätze und Vorträge über Physik und Erkenntnistheorie. Braunschweig, 1961.

127. Physics in perspective. Report of the physics survey committee. National Academy of Sciences. Washington, D. C., 1972.

128. Poincaré M. H. Du rôle de l'intuition et de la logique en mathématiques.— Compte rendu du deuxième congrès international des mathématiciens. Paris, 1900.

129. Qadir A., Sayed W. A. Hawking radiation and strong gravity blackholes.— Phys. Lett., 1979, v. 84 B, p. 189.

130. Salam A. Are leptons really different from hadrons?— International centre for theoretical physics report IC/74/87. Trieste, 1974.

131. *Salam A.* Gauge unification of fundamental forces.—Proc. of the European confer. on particle physics. Budapest, 1977, v. 2, p. 1187.

132. *Salam A., Strathdee J.* Hadronic temperature and black solitons.—Phys Lett., 1977, v. 66 B, p. 143.

133. *Salam A.* The electroweak force, grand unification and superunification.—International centre for theor. phys. report IC/78/137. Trieste, 1978.

134. *Schmied H.* A study of economic utility resulting from CERN contracts.—CERN report 75—5. Geneve, 1975.

135. Science News, 1979, v. 116, p. 153.

136. *Wald R. M.* Space, time and gravity: The theory of the big-bang and black holes. Chicago. Chicago University press, 1977.

137. *Weisskopf V.* Panel reports on high energy physics in next decade.—Phys. Today, 1969, v. 22, p. 65.

138. *Weyl H.* Mathematics and logic. A brief survey as preface to a review of «The philosophy of Bertrand Russel».—American Mathematical Monthly, 1946, v. 53, p. 2.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава I. ПРОБЛЕМА НЕИЩЕРПАЕМОСТИ МАТЕРИИ	9
1. Об эмпирическом и теоретическом статусе проблемы неисчерпаемости	10
2. Бесконечность материи и «законченные теории»	16
3. О «единых теориях» и построении «теории Вселенной»	23
4. Можно ли считать теорию гравитации «полностью законченной теорией»?	30
5. Электродинамика — еще один пример «законченной теории»?	45
6. Аксиоматизация научного знания	51
Глава II. СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О СТРУКТУРЕ МАТЕРИИ	57
7. Проблема элементарного	59
8. Какой объект можно назвать «самым элементарным»	65
9. Систематика элементарных частиц. Суперэлементарные частицы	77
10. Современные представления о структуре субъядерных частиц	87
11. Трудности и парадоксы описания строения элементарных частиц	103
12. Единая теория элементарных частиц	115
13. Прекварки и «праматерия»	136
14. Элементарные частицы как космологические объекты	142
15. Бесконечность материи и развитие Вселенной	158
16. Неисчерпаемость свойств пространства и времени	168

Глава III. ПРОБЛЕМЫ И ТРУДНОСТИ РАЗВИВАЮЩЕЙ- СЯ НАУКИ	173
17. Усложнение экспериментов как причина «конца науки»	174
18. Проблемы информационного барьера	181
19. Моделирование явлений природы как один из спо- собов познания	189
20. Гносеологический аспект проблемы неисчерпаемости свойств материи	193
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	198
ЛИТЕРАТУРА	200

Владилен Сергеевич Барашенков

СУЩЕСТВУЮТ ЛИ ГРАНИЦЫ НАУКИ:

количественная
и качественная неисчерпаемость
материального мира

Заведующая редакцией В. Е. ВИКТОРОВА
Редактор В. А. ШИРЯЕВА
Младший редактор Е. С. ДЫХ
Оформление художника Е. Б. АДАМОВА
Художественный редактор А. Б. НИКОЛАЕВСКИЙ
Технический редактор Н. Ф. КУБРАКОВА
Корректор Г. Б. АБУДЕЕВА

ИБ № 1922

Сдано в набор 01.02.82. Подписано в печать 12.08.82. А 04863. Формат
70×108¹/₂. Бумага типографская № 2. Литерат. гарн. Высокая печать.
Усл. печатных листов 9,10. Учетно-издательских листов 9,92. 9,28 усл. кр.-
отт. Тираж 17 000 экз. Заказ № 1036. Цена 60 к.

Издательство «Мысль». 117071. Москва, В-71, Ленинский проспект, 15.

Типография издательства «Калининградская правда»,
г. Калининград обл., ул. Карла Маркса, 18.