

М. А. Марков

О ПРИРОДЕ
МАТЕРИИ



Издательство Наука.

Deposited
American Library
(came)
page
U. S. Copyright Library
1876
Library

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

М. А. Марков

О ПРИРОДЕ МАТЕРИИ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

МОСКВА. 1976

В книге анализируются фундаментальные проблемы современной теоретической и экспериментальной физики и связанные с ними философские вопросы. Большое место в ней занимает рассмотрение многих аспектов квантовой физики, современной формы атомистики — физики элементарных частиц, состояния теории и перспектив ее развития. Особый интерес представляет обсуждение вопросов нелокальности квантовых полей, включающих гравитацию.

Моисей Александрович Марков

О природе материи

Утверждено к печати

Научным Советом по комплексной проблеме
«Философские вопросы современного естествознания»
при АН СССР

Редактор издательства В. И. Башилов. Художник С. А. Литвак.

Художественный редактор Б. К. Силаев.

Технический редактор Т. С. Жарикова.

Корректоры Е. Н. Белоусова, Р. П. Шаблеева.

Сдано в набор 19/XII 1975 г. Подписано к печати 20/IV 1976 г.

Формат 84×108^{1/2}. Бумага типографская № 1.

Усл. печ. л. 11,34. Уч.-изд. л. 11,9. Тираж 6000.

Т-09007. Тип. зак. 82. Цена 98 коп.

Издательство «Наука»

103717 ГСП, Москва, К-62, Подсосенский пер., 21

2-я типография издательства «Наука»

121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 10

ОТ АВТОРА

Статьи, составившие предлагаемую книгу, частью посвящены исследованию природы нашего знания о микромире, частью нашему знанию природы материи. Представляет известный интерес вопрос: как человек — макроскопическое существо, бытие которого макроскопично, способен успешно познавать микромир с его закономерностями, отличными от макроскопических. Что касается нашего знания о природе материи, то этому вопросу в книге посвящен ряд статей, напечатанных в различных журналах на протяжении последней четверти столетия, — в них есть известная внутренняя преемственность. Последняя статья представляет некоторую попытку заглянуть в будущее. С точки зрения автора, эта книга, трактующая проблемы теории материи и материалы которой сгруппированы в исторической последовательности, подводит к мысли, что идея построения «законченной» теории в рамках одного поля (например, электродинамики), теории, свободной от известных трудностей (расходимости и проч.), теряет смысл.

Постепенно от статьи к статье росла уверенность, что рано или поздно должна возникнуть какая-то одна теория полей, которая объединила бы как слабые, так и электромагнитные, сильные и гравитационные взаимодействия, что мир построен без архитектурных излишеств и что проблемы ультрамакроскопической физики (Вселенной) и ультрамикроскопической физики (элементарные частицы) могут быть завязаны в один тугой узел.

Конечно, конкретная форма связи макро- и микрофизики, о которой идет речь в книге, может в действительности оказаться иной.

В настоящее время есть основания полагать, что включение гравитационного поля в общее семейство квантованных полей решает известные трудности теории полей с расходимостями.

Теория полей становится нелокальной, но это своеобразная нелокальность, которая не противоречит принципу причинности. Нелокальность, о которой идет речь, наступает лишь в области очень малых длин ($l \sim 10^{-32}$ см).

Конечность прежде расходящихся величин поля лишь тогда удовлетворит требование, предъявляемое физикой, если возникающие таким образом теоретические величины совпадут с экспериментальными. В данном случае при данных характерных обрывающих длинах эта ситуация может возникнуть, если все оставшиеся в теории расходящиеся выражения будут логарифмическими ([76], с. 181)*. Можно надеяться, что такой будет единая теория полей, которая в настоящее время находится в процессе становления.

Поскольку книга составлена из статей, уже опубликованных в различных периодических изданиях, то естественно, что в ней встречаются некоторые повторения, иногда даже повторяются цитаты, хотя каждый раз в существенно ином плане — в соответствии с «оттенками» текста книги. В ряде случаев оказались необходимыми новые примечания.

О ПРИРОДЕ ФИЗИЧЕСКОГО ЗНАНИЯ *1

Главный недостаток всего предшествующего материализма — включая и феербаховский — заключается в том, что предмет, действительность, чувственность берется только в форме объекта, или в форме *совершения*, а не как *человеческая чувственная деятельность, практика*, не субъективно. Отсюда и произошло, что *десятельная* сторона, в противоположность материализму, развивалась идеализмом, но только абстрактно, так как идеализм, конечно, не знает действительной, чувственной деятельности как таковой.

(К. Маркс. Тезисы о Фейербахе.—
К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения,
т. 3, с. 1).

Развитие физики в последние десятилетия значительно обогатило наше знание. Наше научное проникновение в микромир раскрыло много нового и неожиданного. Оно привело не только к открытию новых, прежде не известных объектов микромира — позитрона, нейтрона, мезона и т. д. — оно привело к открытию специфических закономерностей микромира, столь фундаментально отличных от того, что встречалось нам в макрофизике. Развитие физики привело к новому физическому воззрению, и это новое физическое воззрение имеет огромный теоретико-познавательный интерес. Хотя физические основы этого воззрения с большой полнотой сформулированы около двадцати лет тому назад, значение новой физики для теории познания далеко еще не раскрыто.

* «Вопросы философии», 1947, № 2.

¹ Статья печаталась в порядке обсуждения. С тех пор прошло больше четверти века. Как в нашей стране, так и за рубежом появилось много книг и статей как физиков, так и философов, в которых рассматривались различные стороны проблемы.

Анализировать или даже слегка касаться этой литературы — значит писать статью заново. Однако мне кажется, что некоторые аспекты проблем, трактуемых в этой статье, сохраняют известный интерес и для современного читателя. Надеюсь, что встречающиеся в ней архаизмы не сильно деформируют ее общий смысл. (Примечание при подготовке книги.)

* Здесь и далее в квадратных скобках указан номер цитируемого источника в списке литературы, помещенном в конце книги, где приводятся его выходные данные.

Вряд ли найдутся два физика, вполне согласные друг с другом по принципиальным вопросам, связанным с этой концепцией, по вопросам теоретико-познавательного характера.

В ряде стран за рубежом в последние годы появляются попытки исследований философских проблем, поставленных изучением микромира.

Авторы этих исследований — главным образом физики. Не случайно физики стали философствовать: физики вынуждены философствовать, ибо для современной физики особо характерно, что ее нельзя излагать, не затрагивая глубокие вопросы теории познания, — эти вопросы тесно связаны с конкретным содержанием новой теории.

Проблема причинности, понятие физической реальности, наконец, фундаментальная проблема взаимоотношения субъекта и объекта — все они оживленно дискутируются в свете конкретных данных о микромире.

Каждый существенный этап в развитии науки, в развитии физики оказывал, как известно, существенное влияние на развитие теории познания, и здесь очень важно выяснить, что же действительно нового приносит с собой в материалистическую теорию познания наше проникновение в микромир.

Многие зарубежные физики, очень авторитетные в своей области, считают, что современная физика развивается в направлении от материализма к идеализму. Изумительные достижения современной науки часто неожиданно окрашиваются в пессимистические тона. Точное знание внешнего мира становится для нас невозможным, пишет Джинс в одной из своих книг.

На новом этапе развития науки возникает поэтому тот же, прежний вопрос: «Подтверждает ли современная физика идеализм?»

Для того чтобы не расплываться в общих фразах по этой многогранной проблеме, мы здесь сознательно ограничим задачу. Мы ограничимся «одним» вопросом: *действительно ли точное знание внешнего мира становится для нас невозможным?*

Если внимательно вдуматься в те принципиальные проблемы, которые требуют своего обсуждения и обычно обсуждаются в физике микромира, то все они в конце концов призываются для решения этой конечной проблемы. Поставив этот вопрос, мы вынуждены в какой-то мере ка-

саться почти всех гносеологических проблем, как это практически и вынуждены делать физики, ибо вопрос имеет вполне конкретное практическое для физика значение, что и заставляет его отправляться в эту непривычную для физика, такую далекую экскурсию по гносеологическим проблемам.

Постановка этого вопроса требует в первую очередь внимательного анализа *самой природы* знания о микромире, которое полно специфического своеобразия.

Это своеобразие заключается в следующем: классическая макроскопическая механика оказалась к микромиру неприменимой. Современная теория микромира — это так называемая квантовая теория. Структура квантовой теории примерно такова: микроявление наблюдается макроскопическим прибором — этот макроскопический прибор устанавливает связь между экспериментатором и микроявлением. Квантовая теория дает физическое истолкование того, что происходит в макроприборе под воздействием микроявления. Образ микроявления воссоздается по результатам показания макроскопического прибора, к которому применима классическая механика. Поэтому результаты наблюдения мы, естественно, выражаем в понятиях классической механики, например в понятиях импульса или координаты.

На первый взгляд кажется, что получается внутреннее противоречие в самой теории: с одной стороны, отказ в микромире от классической механики и, с другой стороны, признание необходимости истолкования наблюдаемого нами явления микромира в понятиях классической механики.

В квантовой теории это противоречие, как мы увидим ниже, снимается тем, что квантовая теория считает неправильным рассматривать некоторые свойства микрообъекта оторванно от макроскопического прибора, с которым этот объект взаимодействует. В этих случаях принципиально нельзя отвлечься от роли макроскопического прибора, которая, как выясняется, может быть различной в зависимости от характера самого прибора.

Во всяком случае, современная квантовая теория рассматривает явления микромира только в неразрывной связи с взаимодействующим с ним макроприбором.

Это обстоятельство накладывает известный макроскопический отпечаток на природу нашего знания микромира, на его внешнюю форму, на «язык» этого знания, на образы.

Вот эта классическая макроскопическая форма знания микромира и подлежит в первую очередь тщательному исследованию.

Физика дает конкретные знания микромира при таком макроскопическом подходе к нему с помощью макроскопического прибора. Но вопрос, почему познающий субъект обязан смотреть на микромир через макроприбор, — этот вопрос связан с появлением самого мыслящего и познающего существа в природе как макроскопического существа и определяется всем историческим процессом возникновения мыслящей материи.

Если познающий субъект был бы сам объектом микромира, врид ли для него появилась необходимость рассматривать микромир через макроприбор, другими словами, оп врид ли стал бы строить современную квантовую теорию, для которой существенно наблюдение с помощью макроприбора, — эта несколько отвлеченная и парадоксальная постановка вопроса показывает, во всяком случае, что перед нами в основном гносеологическая проблема.

Подчеркиваемая нами макроскопическая природа, макроскопическая форма знания, даваемая квантовой механикой, в том или ином аспекте обсуждалась в литературе очень широко, но в зарубежной литературе все эти вопросы часто получали идеалистическое истолкование.

В нашей философской литературе принципиальные вопросы квантовой теории пока не подвергались внимательному анализу. Распространено, по-видимому, мнение, что квантовая механика — «слишком» новая теория, которая еще не устоялась, что в пей много неясностей, которые с развитием теории сами собой исчезнут. Иначе говоря, все трудности ее анализа возлагаются на плечи «потомков». Может быть, это очень «удобная позиция», но квантовая теория существует уже четверть столетия. С фактической, физической точки зрения, она блестяще обоснована экспериментом в той области, на которую она претендует. Поэтому врид ли такая позиция может быть оправдана.

В отличие от такой позиции мы, наоборот, исходим из существующей теории, берем квантовую теорию в ее современном, «сегодняшнем» виде.

С общей точки зрения эта позиция также ограничена. Она ограничена определенной физической концепцией (теория дополнителъности). Мы, таким образом, сознательно ставим перед собой частную, но вполне конкретную зада-

чу: выяснить возможность последовательно материалистического истолкования этой физической концепции.

Большое несчастье для материалиста — под покровом случайных, внешних «идеалистических украшений» проглядеть материалистическое содержание новой теории, встать на путь отрицания ее и, оставаясь на старых, привычных позициях, превратиться из новатора, которым должен быть последовательный материалист, в убежденного рутинера.

Ниже дана попытка материалистически истолковать особую роль макроскопического прибора в современной квантовой теории и в связи с этим исследовать макроскопическую природу нашего знания микромира. Насколько эта попытка удачна, покажет ее дальнейшее обсуждение.

Квантовая теория

В классической теории состояние частицы в данный момент характеризуется ее точным положением в пространстве (координатой), ее массой и скоростью (импульсом).

В квантовой области «импульс» и «координата» частицы — это понятия, взаимно конкурирующие: если имеется состояние частицы с определенным, т. е. точно данным, значением импульса, то к такой реальности неприменимо понятие определенного положения. И обратно, если известно, что частица находится в данный момент в данном месте, т. е. известна ее координата, то к частице непременно понятие точного, определенного импульса.

Здесь вниманиестораживается, хочется знать, что скрывается за этим словом «неприменимо». Мы пока раскроем лишь внешний, догматический смысл новой теории, ее формальную сторону.

Какое же содержание имеет фраза: «Неприменимо понятие положения частицы, если известен ее точный импульс»? Смысл утверждения таков: «Если организовать поиски этой частицы с помощью точных физических приборов, фиксирующих ее положение, то частица обнаруживается с равной вероятностью в любой точке пространства».

Этот ответ, может быть, несколько разочаровывает. Разве в классическом случае точного знания импульса и отсутствия каких-либо сведений о координате имеется другая ситуация? Нет. Но в классической теории предпола-

гается, что этот «элемент незнания» координаты частицы случаев, мы просто не удосужились узнать, измерить координату. В квантовой же области существенно утвердительно: «... и невозможно принципиально измерить координату, если желательно сохранить известным определенное значение импульса частицы». Оказывается, при измерении положения частицы прибор неизбежно меняет неопределенным образом ее прежний импульс.

Теперь, после точного измерения координаты частицы, мы имеем другой случай состояния, случай, полностью исключаящий предыдущий: точно известно положение частицы, но совершенно неизвестно, как прибор изменил ее первоначальный импульс. После измерения положения частицы ее импульс делается неопределенным. Все «коварство» квантовых взаимодействий заключается в том, что нельзя контролировать изменения импульса при наблюдении координаты. Попытка организовать такой контроль, правда, дает ту величину, на которую изменился импульс частицы, но одновременно, как показывает анализ, она приносит с собой потерю прежнего знания координаты.

Нельзя придумать такой опыт, утверждает квантовая теория, в результате которого можно было бы получить одновременно точные знания положения частицы и ее импульса. Это утверждение носит принципиальный характер и не зависит от качества аппаратуры наблюдения. По своему характеру оно вполне аналогично утверждению невозможности создания вечного двигателя первого рода, добывающего энергию «из ничего». Самая головоломная конструкция вечного двигателя не способна обойти закон сохранения энергии. Здесь же, в этом «конфликте» координаты и импульса, повинен, по утверждению квантовой теории, атомизм взаимодействия, а взаимодействие — неизбежный элемент любого наблюдения с помощью любой конструкции.

При рассмотрении проекта вечного двигателя всегда обнаруживается конкретная причина, почему та или иная конструкция не работает вопреки желанию ее автора.

Вполне аналогичным образом при анализе любого предложения, аппарата любой конструкции, предназначенного для одновременного точного измерения импульса и координаты частицы, всегда вскрывается конкретная причина, в силу которой аппарат оказывается не в состоянии оп-

равдать ожидания. Проекты такого рода часто обсуждались в первые годы возникновения квантовой теории и получили название «мысленных экспериментов». Хотя рассмотрение этих мысленных экспериментов имеет не большее научное значение, чем обсуждение очередного проекта вечного двигателя, все же некоторый педагогический интерес оно представляет: более конкретно ощущаются эти удивительные закономерности микромира.

Перед нами попытка определить положение электрона с помощью идеального микроскопа. В микроскоп, как известно, можно «что-то» рассмотреть, если это «что-то» по своим размерам не меньше, во всяком случае, длины волны света, которым оно освещается. Чем точнее мы стремимся определить положение электрона, тем меньше должна быть длина волны света. Но другая природа света — это кванты. И если квант света падает на электрон, он сообщает ему какой-то импульс. Энергия этих квантов фатальным для нашего эксперимента образом тем больше, чем меньше длина волны.

Следовательно, при точном определении положения электрона мы должны освещать его светом как угодно малой длины волны. Это значит применять кванты как угодно большой энергии. Это значит как угодно большое изменение первоначального импульса электрона. Если этот импульс нам был известен до опыта с микроскопом, то после опыта, после попытки точно определить положение электрона, его импульс полностью неизвестен.

Проект потерпел неудачу.

Можно попытаться определить положение электрона с помощью щели. Чем уже щель, через которую пролетает электрон, тем точнее в этот момент фиксируется его положение. Здесь «неприятность» приходит со стороны волновой природы электрона. Волновой луч, проходя через отверстие, через щель, испытывает отклонение, дифракцию: электрон, проходя через щель, в силу своих волновых свойств меняет свое направление, а следовательно, и импульс. На самом деле явление это сложнее, но и здесь та же фатальная закономерность: чем щель уже, чем точнее определяется положение частицы, тем больше дифракционное отклонение, тем значительнее меняется первоначальный импульс. Проект этот терпит неудачу. Так всякий раз при обсуждении подобного рода проектов вскрывается их порочность.

Кроме необычайного для классической теории самого факта атомистичности действия, обращает на себя внимание необычная «субъективность» языка изложения: «нельзя одновременно узнать . . .», «принципиально невозможно измерить . . .», «для нас недоступно . . .» и т. д.

В литературе классической физики субъективная терминология, если она иногда встречается, носит случайный характер и имеет точный, строгий перевод на объективный язык физических факторов.

Возникает вопрос: каков объективный смысл чисто субъективного языка квантовой теории? Этот вопрос мы оставляем до следующих параграфов, а здесь продолжим изложение формального содержания квантовой теории, не уклоняясь далеко ни по существу, ни терминологически от обычного популярного пересказа.

Во всех предыдущих случаях имелось в виду точное измерение импульса или координаты частиц, но своеобразное положение создается и при неточном их измерении.

При анализе теории или мысленных экспериментов оказываются возможными такие измерения, в результате которых можно заключить, что координата частицы, правда, точно неизвестна, но она лежит вот в «таких-то» пределах, что импульс частицы нельзя указать точно, но он заведомо не больше, чем «такой-то» импульс. Иначе говоря, опыт дает координату частицы с «такой-то» ошибкой, с «такой-то» неточностью; эту неточность можно выразить численно. Если выразить неточность в импульсе также в числах, то оказывается, что произведение этих неточностей при одновременном наблюдении над частицей численно никогда не бывает меньше половины кванта действия. В крайнем случае, если условия опыта являются исключительно благоприятными, произведение этих неточностей равно половине кванта действия. Это как раз то знаменитое «соотношение неточностей» квантовой теории, которое носит универсальный характер и часто возводится в физике в почетный ранг принципа.

Этот принцип является следствием квантовой теории, наиболее сжатой формулировкой ее особенностей. Он разъясняет, что характер взаимодействия таков, что одновременно измерение импульса и координаты возможно, в лучшем случае, только с такими неточностями. Тот или иной эксперимент, та или иная физическая аппаратура, призванная измерить координату и импульс частицы, — они могут

как угодно варьировать эти неточности измерения, но произведение неточностей неизбежно подчиняется данному соотношению. При изложении вопроса это место часто снабжается замечанием: «Соотношение неточностей, принцип неточностей формулирует, таким образом, количественное ограничение применимости к образу микромира в один и тот же момент классических представлений импульса и координаты».

Хотя это замечание звучит как резюме, оно тем не менее в чисто логическом отношении совсем не представляется однозначно строгим выводом из предыдущего: оно скорее носит характер «толкования». Во всяком случае, оно возбуждает ряд вопросов, ответы на которые являются в дальнейшем основной целью нашей статьи.

Надо обязательно добавлять: «одновременной применимости классических представлений импульса и координаты». В этой оговорке очень много своеобразного.

Действительно, если бы речь шла о неприменимости понятия координаты для частиц микромира или того же импульса, то такое положение не являлось бы с классической точки зрения необычным. Можно придумать самые разнообразные модели систем в классике, положение которых не характеризуется заданием какой-то одной избранной точки. Но в квантовой теории совсем другая ситуация. Можно, согласно квантовой теории, опытным путем найти точное значение координаты. Значит, координата имеет в квантовой теории для данного примера точно такой же смысл, как и в классической физике. Но в то же самое время к частице неприменимо понятие импульса.

Обратно, интересуясь только импульсом частицы, мы определяем точно его величину, и здесь опять нет никакого отличия от соответствующего классического понятия. Значит, импульс и координата — эти классические понятия сами по себе пригодны в микромире. Есть случаи, когда координата частицы имеет точный, вполне классический смысл. Есть случаи, когда импульс частицы имеет точный классический смысл, но одновременные точные значения этих величин исключают друг друга. Наше наглядное представление отказывается представлять себе что-либо подобное. Перед нашим мысленным взором «маячит» классическая частица, мы ее «видим» с ее определенной локализацией в пространстве, с ее определенной скоростью в определенном направлении.

Но что же это за частица микромира, как ее представлять, если заданы такие ограничения? Здравый смысл не удовлетворен, здравый смысл ропщет, он налагает свое унылое вето: «Не может быть!»

Мы оставим до дальнейшего в стороне этот конфликт между квантовой теорией и наглядными представлениями и констатируем пока «деловую» сторону вопроса. Она заключается в том, что при наличии атомизма действия опыт дает информацию о состоянии частиц в том ограниченном виде, о котором сейчас шла речь. Такую информацию о состоянии частиц мы в дальнейшем будем называть коротко «состоянием частицы», или вообще состоянием рассматриваемой системы, или «волновой функцией». Соответствующая математическая функция удовлетворяет так называемому волновому уравнению.

Если в самом деле то максимальное знание, что может дать точно и хорошо проведенный опыт, — это сведения о такого рода состояниях, то задача такой теории, или, как ее называют, квантовой механики, заключается в том, чтобы находить изменение этих состояний во времени и по этим сведениям (состояниям) предсказывать результаты тех или иных предполагаемых измерений.

Сформулируем, хотя бы очень внешне, сходство и различие между классическими, с одной стороны, и квантовыми проблемами, — с другой. Если в механике Ньютона при решении конкретных задач задаются значения импульса и координаты в данный момент и находится значение этих величин в любой другой момент времени, то в квантовой теории в начальный момент задаются вероятности найти частицу в любом месте пространства с любым импульсом и отыскивается, как изменяется эта вероятность к любому другому моменту времени. Надо заметить, что по степени совершенства математического аппарата квантовая теория ничем не уступает механике Ньютона. До сих пор мы подчеркивали главным образом то, в чем квантовая теория ограничивает классическую информацию о состоянии частиц. Однако квантовая механика блестяще разрешила множество проблем, непосильных для классической теории. Но эту сторону квантовой теории, особенно важную и интересную для характеристики ее содержания, мы в нашей статье рассматривать не будем.

Излагая соотношение неточностей, мы, следуя многим авторам, повторяли его обычную формулировку: «Нельзя одновременно измерить точно импульс и координату...»

В другом месте мы старательно подчеркивали неприменимость понятия координаты частицы в микромире, если ее точный импульс известен, и наоборот. Само собой понятно, что если «неприменимо...», то значит и «нельзя», но если «нельзя», — значит ли это «неприменимо»?

«Неприменимо» — это утверждение носит вполне объективный характер.

«Нельзя одновременно измерить...» «Нельзя» в буквальном своем смысле звучит как запрет, ограничивающий познание, но в данном случае в квантовой теории «нельзя измерить одновременно» имеет, как мы увидим, точный смысл слова «неприменимо».

Было бы совершенно неправильно воспринимать соотношение неточностей как какой-то злой рок, своего рода проклятие, тяготеющее над нашими попытками измерить координату и импульс микрочастицы. Предполагать, что частица имеет одновременно такое значение импульса и координаты, которое, однако, по каким-то случайным причинам нельзя точно измерить, — это значило бы прийти в противоречие с квантовой теорией. Речь идет о том, что самое понятие импульса или координаты объективно теряет смысл в этих условиях. Хотелось бы несколько подробнее остановиться на проблемах физических понятий вообще, на физическом определении их, на том, как они при случае «теряют свой смысл».

С давних пор в физике установилась традиция на первых страницах книги четко определять смысл физических понятий, которые необходимы для дальнейшего изложения. Тем не менее история развития физики показывает, что то или иное «неблагополучие» часто связано с «недостаточно строгим определением в прошлом основных физических понятий». Слово «основных» — коварное слово; его коварство заключено в том, что оно скрывает огромное число «неосновных» физических понятий, которые, будучи неосновными, не заслужили в свое время должного внимания.

Возведение понятия в сан «основного» не непогрешимо. И понятия, которые в свое время «обошли» с возведением

в ранг основного, часто жестоко «мстят» физикам за невнимание. Об одном таком понятии (понятии одновременности) теория относительности ведет несколько сложный, но поучительный рассказ. Теория относительности в особенности приучила к осторожному обращению с «основными» физическими понятиями, но главное, если можно так сказать, привила высокую культуру физических определений.

Определение физических понятий должно содержать существенным образом описание экспериментов, с помощью которых возможно сделать наблюдения и измерения, относящиеся к данному физическому понятию. Эта возможность измерения должна быть хотя бы принципиальной. Это значит, что должен быть хотя бы мыслим такой опыт, т. е. проведение такого опыта не вступало бы, по меньшей мере, в противоречие с той теорией, которая содержит это понятие и которая в настоящий момент обсуждается или даже считается правильной. Если проведение такого опыта противоречит другим положениям теории и в рамках этой теории оказывается поэтому принципиально невозможным, то в рамках данной теории констатируется несостоятельность данного понятия. Если данная теория строго подтверждается экспериментом, то тем самым обсуждаемая экспериментальная несостоятельность раскрывает несостоятельность понятия.

В общем, выражаясь книжным языком, «физик должен знать, о чем он говорит». Чтобы слова физических определений не были пустыми, физик не только должен рассказать, но и принципиально «показать», о чем идет речь, т. е. провести рассуждение «молча», с помощью приборов.

В таком общем и элементарном изложении с первого взгляда польза усмотреть огромную важность этих, казалось бы, простых истин: «физик должен знать, о чем он говорит». Часто недоразумение заключается в том, что физик «думает», что он знает, о чем он говорит. В таких случаях при обращении к эксперименту получается «возмездие».

С другой стороны, понятия обладают, так сказать, известной агрессивностью: они часто претендуют на области, где, по существу, применимость их лишена смысла, т. е. часто наше сознание по привычке, без достаточного основания, расширяет область применимости того или иного

понятия и лишь после, иногда, долгое время спустя, именно здесь обнаруживаются источники многих недоразумений. Таким примером служит некритическое применение понятия импульса и координаты к частицам микромира.

Ввиду важности вопроса остановимся вначале на одном совсем элементарном примере — понятии скорости. Мимо нас по шоссе мчится легковая машина. Мы говорим: какая «бешеная скорость!» Глядя вслед сильной машине, переводим слово «бешеная» на язык цифр: 100—120 километров в час. «100—120 километров в час — такова скорость».

Кажется, что фразу, взятую в кавычки, не может упрекнуть и самая придирчивая критика: нам фраза понятна, «мы знаем, о чем идет речь».

Но здесь могут обратить наше внимание на то обстоятельство, что шоссе вместе с Землей само движется вокруг Солнца со скоростью 30 километров в секунду, что, собственно говоря, мы скорость автомобиля «указали неправильно».

Но, более того, вся Солнечная система с огромной скоростью (около 20 километров в секунду) движется к созвездию Геркулеса. Наконец, Галактика движется тоже...

Какова же в самом деле, наконец, скорость автомобиля? Откуда мы взяли, казалось, понятную цифру 100—120 километров?

Последний вопрос имеет однозначный, точный ответ: 100—120 километров — это скорость легковой машины относительно нас, стоящих на обочине шоссе.

Теперь настало время признаться в заблуждении. Мы писали: «нам фраза понятна», «мы знаем, о чем идет речь» (100—120 километров — такова скорость). В этой фразе пропущены слова «относительно Земли». Без этих слов фраза, ясный смысл которой мы всячески подчеркивали, не имеет никакого смысла...

Но какова же скорость автомобиля вообще, скорость «как таковая», безотносительно к чему-либо?

«Безотносительно к чему-либо...» Это проще всего попытаться представить себе, удалив мысленно деревья, дома, наконец, асфальт шоссе... Мы закрываем глаза и представляем себе в пустой Вселенной «бешено» мчащийся автомобиль. Мы ловим себя на попытке совершить «жульничество» — измерить скорость автомобиля относительно нас самих — и во избежание подобных недоразумений садимся в автомобиль.

Мы знаем, что автомобиль «мчался мимо нас с бешеной скоростью», когда мы удачно вскочили в проходящую машину.

Какова же скорость в настоящий момент?

Здесь физик отвечает советом, простую, но глубокую мудрость которого оценить по заслугам во всей полноте могли лишь последние десятилетия:

— Измерьте!

Пытаемся это сделать.

Но тут мы замечаем, что измерить скорость не можем. У нас нет другого тела, другого предмета, относительно которого измеряется скорость. И физик резюмирует положение: «Это значит, что понятие скорости здесь неприменимо».

Неприменимо, ибо понятие скорости включает в свое определение два тела и становится бессмысленным, если дано одно из них.

Смысл слова «измерьте» заключается не в том, чтобы испытать ваше искусство экспериментатора, — в нем великодушно не сомневаются, предполагается идеальный экспериментатор, вооруженный идеальными инструментами измерения — это лишь просто способ проверки применимости в данном случае самого физического понятия, о котором идет речь. Приглашение перейти от слов к делу, от психологии к физике, показать, что за словами, которые вы произносите, скрыто реальное или, во всяком случае, внутренне непротиворечивое содержание, — в этом, с другой стороны, заключается и огромное «педагогическое» значение предложения «измерьте».

Часто на некоторые вопросы нельзя ответить не потому, что «здесь наука бессильна», а просто по причине бессодержательности самого вопроса («Какова траектория тела вообще», «Какова скорость вообще» и т. д.)

Для того чтобы оградить себя от неуместных вопросов, физики выработали некоторое противоядие, которое в умеренной дозе имеет характер лекарства: они ограничиваются в известном смысле «деловыми» вопросами. Физики считают, что форма обращения к ним должна быть примерно следующая: «Что будет наблюдаться, если я возьму и сделаю то-то и то-то?»

Если теория правильна и полна, она должна ответить на любой такой вопрос, — и ответить в форме определенного научного предвидения.

Необходимость указывать на табличку («Без дела не входит») оказывается особенно полезной, когда появляются фундаментальные трудности в теории. Эти фундаментальные трудности связаны часто с неприменимостью старых понятий в какой-то области явлений.

Надо заметить, что «мысленный эксперимент» имеет назначение лишь иллюстрировать внутреннюю непротиворечивость и полноту теории. Если теория к тому же соответствует действительности, то мысленный эксперимент может принципиально стать реальным экспериментом. Если теория терпит крах и наступает эпоха теоретического хаоса, мысленные эксперименты, естественно, ничему помочь не могут. Здесь помочь можно ожидать только от реальных экспериментов. В квантовой теории мы имеем как раз случай теории, в широких пределах подтвержденной опытом. Поэтому строгий теоретический анализ возможностей измерения в рамках этой теории имеет фундаментальное значение. Анализ возможностей измерения, связанный с соотношением погрешностей Гейзенберга, привел Нильса Бора к формулировке так называемого принципа дополнительности.

Принцип дополнительности

Как мы знаем, частица в классической физике характеризуется, с одной стороны, координатой — положением в пространстве и времени и, с другой стороны, — определенным значением импульса и энергии. Непрерывный ряд положения частицы в пространстве и во времени дает нам пространственно-временную картину движения частицы.

Знание величин импульса и энергии частицы и всего, что происходит с этими величинами во всех перипетиях, постигших частицу, дает энергетическую сторону поведения частицы. Энергетическое поведение частицы строго характеризуется законами сохранения энергии и импульса. Пространственно-временная и энергетическая стороны в поведении частицы составляли в классической физике полную характеристику классической частицы.

В квантовой теории, как мы знаем, импульс и координата не могут быть одновременно точно измерены; одновременно они не имеют точного физического смысла. В квантовой теории, таким образом, можно рассматривать либо только энергетическую сторону поведения частицы с точки зрения законов сохранения, либо только простран-

ственно-временную. Если в классике пространственная характеристика частицы как материальной точки, определенным образом локализованной в пространстве, и энергетическая характеристика находят свое отражение в объективном сосуществовании в образе частицы, то образ квантовой частицы таков, что эти стороны исключают друг друга.

Здесь надо ясно себе представлять смысл утверждения «исключают друг друга». «Стороны» — не одушевленные существа, которые как-то борются и «исключают» друг друга. Но здесь все же входит в теорию «субъективный» момент, который может быть исчерпывающе понят при анализе характера нашего познания микромира как объективной деятельности человека. Человек исследует микромир с помощью физических приборов. Одни приборы дают сведения о микрочастице пространственно-временного характера, другие приборы дают сведения энергетического характера. Эти два класса приборов, вернее, два класса измерений в известном смысле «враждебны» друг другу. Взаимодействие их с объектом микромира таково, что применение прибора одного класса исключает применение прибора другого класса. И это исключение, как утверждает квантовая теория, принципиально заложено в фундаменте квантовой механики и не зависит от практической конструкции прибора, а лишь от характера его «класса» (пространственно-временной или энергетической).

С этой точки зрения, «субъективный момент» заключен лишь в свободе выбора (для наблюдения) приборов того или другого класса. И, конечно, субъективный момент является моментом объективной деятельности человека. Но один прибор дает нам пространственно-временную картину, другой — энергетическую.

Здесь проявляется принципиальное различие роли прибора в классической и квантовой физике. Если в классической физике прибор вскрывает существующее состояние частицы, то в квантовой физике прибор часто участвует в создании состояния частицы², придает ему тот или иной смысл — пространственно-временной или энергетической. Прибор, как говорят, «приготавливает» состояние. Этот несколько «поварской» термин прочно вошел в язык квантовой теории.

² В дальнейшем мы неоднократно будем обращаться к этому вопросу и рассматривать его с разных сторон.

Так как речь идет о таких сторонах понятия частицы, которые в классической физике дополнили друг друга, то и соответствующая новая ситуация в квантовой теории обозначена Н. Бором термином «дополнительность»; принцип же, формулирующий особый характер этой дополненности в квантовой теории, — «принципом дополненности».

Иногда сравнивают «принцип дополненности» Бора с «принципом относительности» Эйнштейна. Так как мы не касались последнего, то лишены возможности передать то существенное, в чем усматривается аналогия. Мы рассмотрим совсем простой пример, имея в виду, конечно, что аналогии всегда страдают большими пороками.

Характер траектории движущегося тела, как известно, зависит от системы координат. Авторы популярных книг часто приглашают читателя в вагон железнодорожного поезда и здесь обращают его внимание на ряд поучительных явлений. В вагоне заставляют подбрасывать и ловить предметы, следить за движением их с точки зрения наблюдателя, сидящего в вагоне, и наблюдателя, стоящего на полотне железной дороги.

Наблюдатель, сидящий в вагоне равномерно идущего поезда, легко убеждается, что предметы, выскальзывающие из рук пассажира, падают на пол по прямой линии, отвесно; что места, куда падают предметы, не зависят от того, движется вагон или спокойно стоит на станции. Предмет, начавший свое падение, «нацелившись» на пол в середине купе, достигает пола, не сбиваясь с отвесного пути. Движение поезда на путь тела не влияет: предмет не оказывается ближе к дивану, несмотря даже на большую скорость поезда.

Наблюдатель — стрелочник, стоящий у полотна железной дороги, — ясно видит, что книга выскользнула из рук пассажира в тот момент, когда он, наблюдатель, стоял прямо против пассажира, а книга стукнулась об пол, когда поезд проехал несколько влево. Или, начертив траекторию предмета, стрелочник получает ее в виде кривой. Эту кривую можно жирной линией нанести на рисунке рядом с первой — она «тоже» траектория тела. Мы видим у одного тела «две траектории», два пути, они мало похожи один на другой. Можно предложить вопрос, какая же из этих траекторий, какой же путь из этих двух является «истинным»?

«Истинную траекторию нарисовал стрелочник» — так сказали бы несколько веков тому назад, когда не знали движения Земли. Если теперь поставить «стрелочника» на земной орбите, он нарисовал бы третью траекторию, не похожую на две первые; но, учитывая движение Солнечной системы относительно звезд, мы получили бы четвертую траекторию и т. д.

Какая же траектория истинная?

Мы здесь снова встречаемся с ложной проблемой, с неточно поставленным вопросом. В вопросе обязательно надо добавить: «с точки зрения такого-то наблюдателя, с точки зрения такой-то системы координат (поезда, полотна дороги)», как часто говорят физики. «Точка зрения» — здесь, конечно, образное выражение: у системы координат (поезда, полотна дороги) нет точки зрения. Речь идет о траектории, которую тело чертит в купе поезда или на пленке киноаппарата, установленного на полотне дороги.

Как прямая, так и парабола могут быть зарегистрированы кинопленкой объективно. Прямая и парабола представляют собой в этом смысле реальность, но в данной конкретной системе они исключают друг друга.

Аналогично этому вопрос: «Имеется ли у данной микрочастицы определенное значение координаты, можно ли считать, что данная частица «собрана» в какой-то определенной малой части пространства?» — оказывается с точки зрения квантовой теории неточно поставленным. Что значит «данная» частица? Каким образом она нам дана? Каким аппаратом вы установили ее существование? В какой связи вы говорите о «данном объекте» микромира как о частице? Если вы установили ее существование аппаратом «энергетического класса», то к объекту, «данному таким образом», неприменимо понятие определенной локализации. Наоборот, микрообъект имеет смысл точно локализованной классической частицы, если он «дан» вместе с аппаратурой пространственно-временного класса.

Как траектории тела имеют смысл не сами по себе, а в связи с данной системой (поезд, полотно), так и старые классические дополнительные понятия импульса и координаты частицы могут характеризовать новый для нас объект микромира, но лишь в связи с аппаратурой того или иного класса и взаимно исключаящим образом.

Как различные траектории одной и той же частицы — параболу и прямую — нельзя понимать сосуществующими

в данной системе координат, так и точные понятия импульса и координаты классической частицы в применении к микрочастице нельзя представить сосуществующими в данном опыте. И это объективно. Нельзя смотреть на квантовую механику как на испорченную «нашим незнанием» механику классическую. Незнание само по себе — неточное наблюдение части величина в классической механике — никак не может служить источником знания огромного количества новых фактов, даваемого квантовой теорией, и объяснения старых, которых не могла объяснить теория классическая.

Педагогически нелегко передать точно эту особую черту дополнительности в квантовой теории. Трудности заключаются в том, что перед нашим «умственным взором» все время маячит наглядный образ классической частицы; что в квантовой теории мы употребляем тот же термин — «частица», — в то время как здесь от старой «доброй» классической частицы осталась «половина»; правда, «по выбору» либо энергетическая, либо пространственно-временная. Существенно при этом, что в применении к объекту микромира понятия классической «получастицы» определяющую роль играет класс измерений, вообще говоря, «приготавливающий» данное состояние.

Для дальнейшего необычайно важно иметь в виду, что понятия импульса и координаты, экспериментальный смысл этих понятий — импульса самого по себе, координаты самой по себе («измерьте») — в квантовой области имеют такой же смысл, как и в классической. Важно иметь в виду, ясно себе это представлять, что мы в квантовой теории, несмотря на ее удивительные особенности, подходим к микромиру с классическими понятиями, макроскопическими представлениями.

В классической физике основные, фундаментальные понятия — это понятия импульса и координаты, энергии и времени. Эти понятия получены нами в нашей макроскопической деятельности; они, во всяком случае, характерны для макромира. Могло случиться так, что, изучая микромир, мы нашли бы в нем вместо физических явлений, характеризующихся импульсом и координатой, принципиально новые физические явления, характеризующиеся понятиями, адекватными микромиру, но этого не случилось. Мы идем в микромир с макроскопическими классическими представлениями, несмотря на то что классическая теория

не может сама по себе объяснить тех новых закономерностей, с которыми мы имеем дело в атомной физике.

То новое, чем характеризуется атомный мир, не дается заменой фундаментальных понятий импульса или координаты классической физики какими-то новыми фундаментальными же понятиями. Новое отображается новым, взаимно исключаящим применением этих же старых понятий к объекту микромира. Может быть, самое удивительное в новой теории — это то, что многое, и надо сказать очень многое, в ней достигается не введением новых понятий, а взаимным ограничением старых.

Все сказанное выше ни в коей мере не означает, что в микромире нет ничего нового. Наоборот, в физике микромира удивительно много нового, своеобразного, и это новое и своеобразное отображается новыми же понятиями, но эти новые понятия микромира таковы, что они строятся буквально на «обломках» старых понятий классической механики.

Может возникнуть вопрос: почему при анализе микромира, создавая теорию явлений микромира, мы должны такую существенную роль отводить макроскопическому прибору и в связи с этим макроскопическим понятием вообще? На этот вопрос можно ответить коротко: потому что речь идет о познании, которое само по себе является макроскопической деятельностью человека. Вот почему мы в своем анализе принципиальных вопросов современной физики решили исходить из трактовки познания микромира как макроскопической человеческой деятельности. Только таким анализом можно получить ясное представление о своеобразном характере теоретико-познавательных проблем, возникающих при нашем научном проникновении в микромир.

Познающий субъект как макроскопический прибор

Анализируя организм человека в его деятельности как «физический прибор», мы констатируем, что перед нами прибор в основном макроскопический. Все органы чувств человека возникли и развились в процессе практической деятельности его, в длительной борьбе за существование именно в макромире. Его непосредственное взаимодействие с окружающими его предметами — макроскопическое взаимодействие. Непосредственная деятельность человека

как «узкофизического прибора» протекает в макромире. Динамические понятия классической механики, такие, как сила, работа, энергия, с одной стороны, очень «человечны», они как бы вносят в природу антропоморфный элемент, но, с другой стороны, эти понятия получили вполне объективное содержание. Сила выражается через такие объективные категории, как инертная масса и ускорение; энергия понимается так же, как вполне объективная характеристика движения. Такая возможность объективного подхода к когда-то неопределенным мускульным, во многом очень субъективным ощущениям заключается в том, что человеческий организм во взаимодействии с природой выступает как объект классической механики. И обратно, отсюда, конечно, совершенно не случайно развились именно такие органы чувств, которые дают непосредственную возможность ориентироваться в природе в пространственно-временном и энергетическом отношениях. Эти отношения полностью характеризуют поведение материи в области применимости механики Ньютона, в сфере непосредственной деятельности человека.

Законы классической механики нам потому «близки», а механическое мировоззрение кажется часто наиболее «простым», что наши органы чувств приспособились к непосредственному восприятию этого мира явлений. Они образовались в историческом развитии нашего организма в макромире. В развитии нашего организма не было «жизненной» необходимости для органов чувств «выйти», во всяком случае, далеко за «рамки» ощущения макромира.

Рассматривая человека как физический прибор, мы приходим к выводу, что этот прибор непосредственно «регистрирует» главным образом взаимодействие с макромиром. В силу всяких причин мыслящее существо физически, как орудие исследования, представляет собой в основном макроскопический прибор. Но, с другой стороны, объективный мир и наше знание объективного мира не ограничиваются макроявлениями.

Рассматривая различные формы движения материи, можно представить себе такую последовательность.

... микромир — макромир — Вселенная.

Микромир — мир «элементарных» частиц, ядра, атома.

Макромир — мир окружающих нас тел, область применения классической физики.

Наконец, Вселенная... — как ультрамакромир.

(Многоточие поставлено осторожности ради, «на всякий случай» ...)

Отвлекаясь в область ненаучных фантазий, можно себе представить, что чувствующая и мыслящая материя проявляется в какой-то другой форме, не в форме макроскопического существа. Естественно полагать, что органы чувств такого «индивида», «биологическое» существование которого связано, например, с атомным миром, давали бы «непосредственные сведения» о явлениях микромира. Его мировоззрение на первых порах было бы «электромагнитным», а законы макромира и весь мир макроявлений казались бы ему, может быть, не менее далекими и страшными, чем нам закономерности микромира. Он понимал бы их, лишь делая усилие над своими наглядными представлениями.

Внутриядерное «существо», к зависти современных физиков, было бы буквально «как у себя дома» в вопросах ядерных сил ... «Наглядные», «модельные» представления этих «физиков» были бы атомные и ядерные. Атомное и ядерное бытие их наложило бы свой отпечаток на определение физических понятий и, вероятно, на характер самой математики. Во всяком случае, они не построили бы квантовую теорию, т. е. такую теорию, однозначное толкование понятий которой относилось бы к предсказанию результатов, получаемых при помощи данной установки, описываемой чисто классическим образом.

В дальнейшем мы рассмотрим, может быть, несколько более реальную ситуацию, чем возникновение мыслящей материи в микромире. Но сейчас для нас эти примеры имели чисто педагогическое значение: еще раз фиксировать внимание на «земном», человеческом характере квантовой теории, ее понятий.

Возникает вопрос: как познающее существо — человек, органы чувств которого приспособлены главным образом к действиям в макромире, способен к познанию микромира? Как человек — грубый макроскопический прибор — оказался в конце концов пригодным для «регистрации» явлений микромира?

На этот вопрос легко удовлетвориться до тривиальности «простым» ответом: человек строит себе более «тонкие» приборы, с помощью которых и изучается микромир.

Это истина. Но у каждой истины имеется много сторон. Нас интересуют три стороны такого рода знаний о микро-

мире, зная с помощью «тонкого» прибора: что в этом знании —

От природы,
От прибора,
От человека?

Физический прибор

Рассмотрим внимательно роль физических приборов при изучении микромира в особенности и вообще объектов, непосредственно не воспринимаемых нашими органами чувств: электростатическое поле как таковое и т. д.

Система наших органов чувств — довольно грубый физический прибор. Груз незначительно меньше грамма рука уже не чувствует, нить незначительно тоньше волоса глаз уже не видит.

Но человек узнал размеры атома, взвесил электрон. Это прибор, фантастический прибор, исправил «недостатки» человеческого организма, расширил и дополнил его возможности.

Существенно, что прибор не всегда просто «обостряет» или механически «продолжает» наши органы чувств: он часто посредник в *особом ранге* между нами и явлением.

Электростатическое поле, например, наши органы чувств непосредственно не воспринимают: электрическое поле действует на электрический заряд, связанный с каким-то телом (массой), «тащит» за собой это тело в направлении действующей электрической силы. Вот это чисто механическое явление воспринимают наши органы чувств.

Совсем другое мы имеем в случае микроскопа, когда с помощью его рассматриваем микроорганизмы. Здесь микроскоп сам по себе «не существует»: глаз «позорче» увидел бы те же самые подробности. Здесь вся видимая картина во всех деталях может быть описана без всякого упоминания о микроскопе.

Другое дело, когда наблюдается явление, которое само по себе не действует на наши органы чувств. В этом случае принципиально нельзя *описать* сущность явления, не упоминая о приборе. Прибор входит в само определение явления. Например, в само понятие, в само определение электрического поля входит упоминание о пробном заряде: «напряженность электрического поля есть сила, действующая на единицу пробного заряда...»

Прибор должен быть таким, чтобы показания его могли быть доступны нашим органам чувств, т. е. показания его должны иметь пространственно-временной или энергетический характер. Прибор обнаруживает явление — это значит, что явление «как-то действует» на прибор. Прибор «показывает» — это значит, что под влиянием явления в приборе «что-то меняется», заметное для наших органов чувств. Меняется его состояние как состояние макроскопической системы. Это значит, что прибор в конце концов должен быть объектом классической механики. *Требование макроскопичности прибора идет «от человека». Оно обязано его макроскопическому положению в природе.*

Если закономерности наблюдаемого явления в принципе не отличаются от макроскопических закономерностей, которым подчиняются прибор и человек, то роль прибора сводится в конце концов к простому, механическому продолжению органов наших чувств. В этом случае прибор не существует для трактовки самого явления — от него можно отвлечься.

Если наблюдаемый мир явлений принципиально отличен от мира макроскопического (микромир) или мира механических явлений (мир электромагнитный), то создается особая ситуация, достойная пристального внимания.

Особая ситуация заключается в том, что каковы бы ни были особенности рассматриваемого мира или явления, но если макроскопический прибор регистрирует это явление, прибор обязательно «рассказывает» о нем на своем макроскопическом языке, в терминах пространственно-временных или энергетических или и теми и другими вместе, т. е. в терминах классической механики.

Если речь идет о микромире, то можно сказать, что прибор дает макроскопическое отражение закономерностей микромира. Если речь идет об электромагнитных явлениях, то прибор дает механическое макроскопическое отражение закономерностей явлений электромагнитных.

Макроскопический прибор «наблюдает» микромир, но «разговаривает» он только на языке, на котором умеет, — на макроскопическом языке. Если угодно, он играет роль переводчика. Иногда «запинается», дает бессмысленную фразу и делает примечание: «непереводимая игра слов». Но если «переводчик» поработает «над текстом», то и здесь он всегда находит на своем языке широкие возможности смыслового перевода.

В макроскопических понятиях, на механическом, макроскопическом языке прибор выражает не только сходство, но и глубокое отличие этих особых закономерностей от закономерностей классической механики.

Это специфическое отличие выражается своеобразной комбинацией макроскопических свойств; таких комбинаций, которые не встречаются в макромире механических закономерностей (частица обладает определенным импульсом, неопределенной координатой, она — комбинация волновых и корпускулярных свойств. Каждое из этих понятий в отдельности имеет строгий макроскопический смысл, но простая механическая комбинация их макроскопически противостественна). В этом смысле макроскопический характер нашего физического познания не меняется наличием «тонкого» прибора, прибор не меняет макроскопического «языка» нашего познания. Это закономерно, ибо этот «язык» только и понятен макроскопическому существу: макроскопическое существо — человек — пока не знает никакой другой формы познавательной деятельности, кроме макроскопической. *В своей макроскопической деятельности он познает также микромир.*

Совершенно параллельно разделению явлений на класс, непосредственно воспринимаемый нашими органами чувств, хотя бы принципиально, и на класс явлений, воспринимаемых нами через отражение в макроскопическом приборе, разделяются наши представления о явлениях на наглядные и не наглядные, на «модельные» и «не модельные».

«Модельные» и «немодельные» представления

Крупнейшие физики прошлых столетий утверждали, что они не понимают явления до тех пор, пока не построит его модель. Утверждение это совсем не связано с индивидуальными особенностями научного творчества ученого: оно представляет собой резюме научного мировоззрения целой эпохи.

Успехи классической механики давали надежду понять все явления природы как явления механики, понять все физические явления через механические движения более или менее сложных комбинаций простых частиц.

Даже живое существо, живой организм упрощенно толковался как сложная машина. «Человек — машина», — писали энтузиасты этой концепции.

В таком последовательно механическом мире модель явления только количественно, только размерами отлична от самого явления. «Конструкция» явления и модели содержит в конечном счете один и тот же материал — простые частицы или непрерывную среду. Построить модель явления и понять явление — здесь почти синонимы.

В старой классической модели атома водорода его ядро представлялось в виде относительно тяжелого положительно заряженного шара — электрон ассоциировался с более легким шариком, несущим заряд другого знака. Все элементы этой модели атома «весомы», «зримы», они «построены» из материала вещей, которые нас непосредственно окружают, они нам «близки», понятны эти твердые заряженные шары . . . Говорили: «Конечно, в действительности атом несколько меньше, намного меньше, но это различие чисто количественное».

Но не по этому пути, как мы знаем, пошло дальнейшее развитие физики. Открылись целые новые миры явлений, для которых нельзя построить наглядных моделей. Рассказать о том, как произошла «катастрофа» модельных представлений, — это значит изложить историю новой физики. «Катастрофа» модельных представлений связана с научным проникновением в мир электромагнитных явлений, с открытием электромагнитной природы материи, со многими новыми понятиями, которые в конце концов формируются в физическое воззрение теории относительности, а затем квантовой теории.

Наши органы чувств не доставляют нам непосредственных сведений о природе электромагнитного поля. В этой цепочке: *электромагнитное поле — пробный заряд — органы чувств* — звено «пробный заряд — органы чувств» посит характер механического взаимодействия. Было естественно на первых порах считать и природу электромагнитного взаимодействия (звено: «электромагнитное поле — проб-

усилия, силы. Мы знаем, как надо завить стальную проволоку в пружину, чтобы она тянула предмет, но «что» надо «завить» в окружающем пространстве, чтобы «оно» тянуло кусок железа, заряженное тело? Естественно, что эта мысль волновала физиков с самого начала учения об электромагнетизме. Она привела к идее особой гипотетической среды, предполагаемой арены явлений электромагнитных — эфира. В течение многих десятилетий с большой настойчивостью физики работали над созданием теории механического эфира. Физики стремились выяснить, какими механическими свойствами должна обладать среда, чтобы в ней были возможны специфические действия на электрически заряженные и магнитные тела. Или, говоря иначе, стремились построить механическую модель электромагнитных явлений.

Упорная неудача преследовала эти поиски. По мере накопления фактов среде этой приходилось приписывать все новые и новые свойства. Сами по себе эти свойства, взятые в отдельности, не представляли собой ничего нового: это те же хорошо известные нам из механики свойства твердости, упругости и т. д. Но неудача заключалась в том, что подчас требовалась для толкования того или иного явления самая чудовищная и, по сути дела, взаимоисключающая одна другую комбинация этих свойств. А главное, все модели неизменно «отказывали в работе», как только переходили к исследованию электромагнитных явлений с точки зрения систем, двигающихся с различными скоростями.

Наконец физики признали свое «поражение» в попытках построить механическую модель эфира. Это «поражение» было величайшей победой в более глубоком смысле. Ибо оказалось раскрытым существование принципиально новой реальности — электромагнитного поля. Несмотря на то, что мы не можем построить наглядную непротиворечивую модель этой реальности, мы ее можем описывать,

Было бы большой исторической несправедливостью отрицать значение модельных представлений в развитии физики. Они и до сих пор продолжают играть огромную эвристическую роль. Когда мы говорим об отказе от модельных представлений, об отказе от поисков для мира немеханических явлений механических моделей, то речь идет, конечно, о таких механических моделях, которые исчерпывали бы до конца всю сущность явления. Такое последовательно механическое мировоззрение ушло в прошлое безвозвратно. Но вместе с тем, в некотором ограниченном и в известной мере более абстрактном смысле современная физика также модельна, ибо явления в самых разнообразных областях часто обнаруживают разительное сходство.

С точки зрения модельных представлений содержание теории — это описание модели. Какой же смысл, каково содержание новой теории, которая, как утверждается, не связывает себя модельными представлениями?

Иногда говорят, что на смену модельным представлениям пришло математическое описание. Известен афоризм одного физика: «Теория Максвелла — это уравнения Максвелла». «Волновая механика Шредингера — это уравнение Шредингера» — можно услышать новое издание этого афоризма. Но с таким же успехом можно сказать, что механика Ньютона — это уравнение Ньютона, и любая область знания, не чуждая математическому описанию, не была бы здесь исключением.

«Математическое описание» вместо модельного — это ответ несколько не по существу вопроса. Конечно, математика играет в современной физике исключительную роль, но тем не менее математика была и остается для физика только инструментом, поэтому не в математическом описании вместо модельного заключается то новое, что отличает современную физику от физики классической.

Объектом математического описания является физический образ, и существенное различие старой и новой физики не в математическом описании, а в различии самих физических образов.

Но всякий физический образ приблизительно соответствует объективной реальности: он — ее отражение в науке сегодняшнего дня, если угодно, — ее «модель». В этом смысле новая физика столь же модельна, как и физика старая.

Но модель новой физики отличается от моделей физики классической тем, что она «не наглядна». Более того, с точ-

ки зрения «наглядности» она часто противоречива. При построении «моделей» новой физики используются «материалы», которые браковались бы старыми «моделистами».

Не повторяя уже известных нам примеров, мы сошлемся на теорию электрона, во многих отношениях хорошо апробированную опытом двух последних десятилетий (речь идет о теории Дирака). Возможно, что в дальнейшем пример окажется не очень удачным, т. е. не исключено, что сама теория Дирака претерпит изменение именно в этом вопросе, но мы будем рассматривать его как повод для утверждений, имеющих более общий смысл.

В теории Дирака электрон точечный, но тот же электрон обладает по абсолютной величине определенным спином (вращением — моментом количества движения). С точки зрения классических понятий момент количества движения и вращение вокруг собственной оси вообще имеют смысл только для тела, обладающего некоторыми размерами. Здесь же берется одно свойство, которое имеет смысл для тела, имеющего принципиально не точечную, т. е. пространственную, форму, и относится оно к объекту, который по своему пространственному смыслу (точечный объект), не мог бы им обладать.

Физик говорит осторожно: электрон — это не просто уменьшенный булыжник, это «нечто», что в некоторых случаях ведет себя, как заряженная точка, а, с другой стороны, в некоторых случаях ведет себя так, как шарик малых размеров, вращающийся с некоторой скоростью вокруг своей оси.

Физик, ищущий наглядных представлений, стал бы придумывать хитроумные, непротиворечивые модели, стараться «изловчиться» построить нечто такое странное.

Современный физик, умудренный богатым опытом, стал «терпимее», осторожнее, он говорит, что его эти обстоятельства в общем перестали смущать. Он рассуждает примерно так.

Микромир, как показывает опыт, существенно отличен от макромира, и в некоторых случаях я неизбежно должен столкнуться с непривычными с точки зрения макромира вещами. Иначе микромир не был бы отличен от макромира. Строго говоря, я мог только сказать, что одна группа свойств данного явления из микромира очень напоминает «вот такие» свойства макроскопических объектов, а в то же время другая группа свойств того же явления имеет боль-

шое сходство с совсем другой группой макроскопических свойств. При этом иногда я констатирую, что обе эти группы макроскопических свойств совместно у одного и того же макроскопического объекта никогда не встречаются и по своему макроскопическому смыслу несомненно различимы.

Представления новой физики в известном смысле так же модельны, как и представления физики классической. Но модель классической физики, в сущности, не отличается от самого явления: она «работающая модель». Модель новой физики носит более «иллюстративный» характер. Она «выполнена», построена из «другого материала», чем самое явление: из макроскопического материала. Модель эта в целом — «неработающая» модель.

Хороший художник создает портрет или пейзаж из разноцветных камешков. Демонстрировался как-то неплохой портрет, выполненный из деталей одного производства. О модели в новой физике можно условно сказать, что она — портрет объекта микромира, выполненный из макроскопических «деталей».

В известном смысле модель новой физики более «модельна», чем модель физики классической. Но эти же модельные представления, которые дают ориентацию в современной физике, часто служат источником заблуждения, что случается всякий раз, когда макроскопическая модель применяется вне границ ее применимости. Мы часто обращаемся с микромиром слишком «по-макроскопически». Его наглядные представления в нашей голове слишком уж «макроскопичны». Мы часто «входим» в микромир с макроскопической невежливостью, «в пальто и калошах».

Роль математики

Конечно, физика становится все более и более математичной, но математика в ней играет некоторую новую, специфическую роль, роль, которая тесно связана с неадекватностью физических образов новой физики. Одно и то же физическое явление в области микромира приходится часто, как мы знаем, рассматривать с точки зрения самых различных макроскопических аналогий.

Среди земной фауны нет такого чудовища, как кентавр. Мы не можем составить живую «работающую» модель из человека и лошади, но художественное воображение смогло создать такой образ. Теперь нам надо принять как научный

результат, что свойства реальности в микромире иногда описываются такими с «макроскопической точки зрения» чудовищами («волны-частицы», «получастицы»). Существенно здесь, что мифические кентавры созданы свободным полетом фантазии — поэтическим творчеством народа; образы физических «кентавров» явились в великом прозаическом труде ученых³.

Надо сказать, что каждый новый такой «кентавр» встречается в среде физиков с превеликим недоверием и в известном смысле «сам» завоевывает себе право на существование. Вначале он часто оказывается «практически» необходимым для истолкования физических явлений, а затем приводит к открытию целого ряда новых экспериментальных фактов и органически входит в систему понятий новой теории.

Если поэтический гений древних для описания кентавров создал литературную форму мифа, то современная физика для описания физических «кентавров» нашла богатые и пока единственные возможности в математике, в математическом описании с помощью так называемых математических уравнений. Математическое описание не стеснено неадекватностью комбинации свойств, с помощью которых удается характеризовать тот или иной объект микромира. Здесь важно, чтобы математически свойства эти были правильно «записаны», правильно выражены в математических понятиях.

Если найдена адекватная физическим идеям математическая форма, то дальше математический аппарат в общем действует «автоматически», автоматически получают все следствия, которые вытекают из данных представлений о предмете обсуждения, положенных в основу наших математических уравнений.

Но главное, математический аппарат, адекватный физическим идеям, предохраняет от применения макроскопических аналогий там, где они уже теряют свой смысл,

³ Стоит предостеречь о том, что термин «физический кентавр» не следует понимать слишком упрощенно. Например, представлять себе волновые и корпускулярные свойства частиц в образе волны, во впадине которой «уютным образом» расположился электрон. Методологически здесь была бы такая же ошибка, как если бы электромагнитное поле мы старались представить себе в виде механической среды. Мы этим термином (образным, но не всегда удачным) обозначаем, конечно, всю сложность ситуации, в частности, принципа дополненности.

т. е. от ошибки наглядных представлений, о которых неоднократно шла речь выше. Очень существенно, что этот же аппарат автоматически дает количественную «оценку» критерия применимости того или иного макроскопического понятия.

Иногда математика приводит к таким выводам, которые «здравому смыслу» кажутся абсурдными; кажется, что эти выводы противоречат даже физическим представлениям, лежащим в основе математических уравнений. Но всегда, если «соблюдены правила игры», т. е. если не сделано математических ошибок, математика оказывается правой, оказывается «умнее», как в таких случаях, не переставая удивляться, с уважением говорят физики.

Любопытно, что часто при дальнейшем изучении того или иного вопроса физики настолько осваиваются с этими, как казалось вначале, абсурдными, результатами, что начинают считать их «само собой понятными и без всякой математики, если хорошенько подумать».

По мере дальнейшего проникновения в микромир изучаемые объекты отображаются все менее и менее наглядными образами, характеризуются все более и более разнообразными и, с точки зрения макроскопической, часто более противоречивой комбинацией свойств, увеличивается «кентавробразность» представления, и математика становится все более и более необходимым инструментом физики. Не удивительно, что роль математики в современной физике непрерывно возрастает, ее аппарат совершенствуется и разнообразится, а язык ее становится очень своеобразным и сложным.

Перед нами книга по теоретической физике. Но «вход сюда нематематику воспрещен» — здесь эта надпись более уместна, чем в древней Академии Платона.

Узор математических знаков производит удручающее впечатление на неспециалиста и является непреодолимым барьером между современной физикой и широкой аудиторией.

За последние десятилетия все чаще и чаще встречается своеобразное, чисто математическое творчество в физике. Физик-теоретик часто, исходя из каких-то более или менее убедительных соображений, «предлагает» свои уравнения для описания целой совокупности физических явлений, как «творец» создает воображаемый мир физических явлений. Часто эти предложения не выдерживают серьез-

ных испытаний экспериментом, но иногда они оказываются неожиданно удачными, и тогда производят неизгладимое впечатление на современников.

Какой-то служитель храма Посейдона, как передает легенда, любил показывать дары, приносимые богу Посейдону от терпевших кораблекрушение и обещавших богу эти дары за свое спасение. Он говорил: «Смотрите: они обещали эти дары — и были спасены». Один посетитель обратился с вопросом: «Покажите мне дары тех, которые обещали за свое спасение, но не были спасены».

Такие «физические» дары можно видеть во многих толстых специальных журналах. Они наполняют их в виде не оправдавших себя теорий. Проводник по «храму науки будущего» не назовет имена авторов их, они погибли для потомства вместе с крушением идей и надежд, породивших эти работы. Если иметь в виду легион этих неизвестных имен, то редкие удачи перестанут быть удивительными. Правда, наша характеристика «удачи» носит очень внешний и поверхностный характер. Крупная «научная удача», если ее анализировать детально, оказывается далеко не случайной. После внимательного рассмотрения случайность удачи начинает выглядеть как историческая необходимость, подготовленная всем предыдущим развитием науки.

Есть область, где метод «математического творчества» имеет особенно существенное эвристическое значение. Это область очень общих законов природы, теория элементарных частиц и пр. Здесь некоторые добавочные условия, добавочные требования, появившиеся в результате фундаментальных открытий новой физики, необычайно уменьшают произвол математического творчества. К числу таких добавочных требований, притом главным, относится требование неизменности формулировки закона для движущегося и покоящегося наблюдателя: закон не должен зависеть от точки зрения наблюдателя, он выражает объективное в природе. Число этих требований небольшое, но они в некоторых случаях так ограничивают математический произвол, что всякий вновь найденный математический аппарат теории, новая теория, благоприятно прошедшая через испытание этих требований, достойны, как показывает развитие физики последних десятилетий, по крайней мере внимания.

Предельно концентрируя наше внимание на очень узком вопросе, мы ограничились беглыми замечаниями о роли математики в современной физике, хотя эта тема заслуживает самого детального исследования.

В математике нашли отображение в абстрактно-логической форме очень общие соотношения объективного мира. Эта абстрактно-логическая форма содержит такой богатый «концентрат» различных возможностей, что возможность чисто логических исследований и богатство различных вариантов (в чисто математическом аспекте) гипнотизирующе действует на самого математика в такой мере, что он часто только свое собственное «я» считает источником этого богатства. Это головокружение от великого успеха абстрактно-логической формы отображения объективного мира широко эксплуатируется идеалистической философией.

Роль и место математики в современной физике еще ждут своего исчерпывающего анализа.

Макроскопическая форма нашего знания

Иногда высказываются суждения, что квантовые представления кажутся нам очень своеобразными лишь «с непривычки», что когда физики после долгой «тренировки» привыкают к ним, они начинают мыслить квантовомеханическими образами легко и непринужденно. Так же легко и непринужденно тогда представляется мир в квантовомеханических понятиях, — как некогда он представлялся в понятиях классических.

Здесь о так называемой привычке уместно передать мудрый рассказ одного московского профессора.

К профессору пришел студент сдавать зачет по интегральному исчислению. Студент бойко брал трудные интегралы. Но перед тем, как поставить в зачетной книжке студента высшую отметку, профессор решил почему-то задать вопрос о самом понятии интеграла. К своему удивлению, профессор не получил правильного ответа. Еще более тяжелым оказался случай с определением дифференциала. Студент явно и безнадежно «плавал».

«Как же это можно, — недоумевал профессор, — Вы прекрасно интегрируете и дифференцируете, но не имеете

понятия о том, что такое интеграл и дифференциал? Как это можно?»

«Профессор, — ответил расстроенный студент, — все дело в том, что мы вначале не понимаем, а потом привыкаем».

Если исключить этот тривиальный, но довольно распространенный случай «с привычки», то от всей «концепции привычки» остается не так уже много. Правда, остается одна существенная, но все-таки частная деталь: если физик, работавший долгое время над квантовыми проблемами, обращается к задачам классической физики, то квантовомеханические аналогии иногда помогают ему в решении классических задач.

На научных семинарах при обсуждении научных докладов очень часто возникают такие ситуации, когда неясное место в каком-либо классическом вопросе вдруг кем-то иллюстрируется на хорошо знакомом квантовом примере, — и вопрос становится вполне «прозрачным». Такое разъяснение недоумения всегда вызывает характерную улыбку у участников семинара. В этой улыбке сквозит не только обычное удовлетворение наступившей ясностью, но и специфическое отношение к тому пути, на котором достигнута эта ясность.

Эти примеры могут породить и порождают иллюзии того, что макроскопический характер нашего знания — это вопрос сложившейся случайно привычки, что для нашего сознания безразлично, с чего начать при изучении природы — с классических или квантовых представлений. Но здесь уже дело идет о простой ошибке. Иллюзия какого-то чисто квантового подхода создается лишь «короткой памятью» физика, забывшего, что именно на макроскопических «материалах», аналогиях в известной мере построена сама квантовая теория. Нетрудно понять, что во всех этих примерах макроскопические аналогии лишь «возвращаются» обратно в «макроскопику».

«От человека», от его макроскопического положения в природе этот особый макроскопический язык нашего знания вообще и знания микромира в частности. *В чем же заключается объективная возможность выражать наше знание микромира в своеобразной «кентаврообразной», но, в сущности, в макроскопической форме? Объективная возможность выражать наше знание микромира в макроскопических терминах заключается в объективной воз-*

возможности «перевести» явление микромира на «показания» макроприбора.

В камере Вильсона мы видим освещенную цепочку капелек. Это чисто макроскопический объект. Но это в то же время свидетельство движения элементарной частицы и ее взаимодействия с атомами газа, наполняющего камеру. В частности, можно видеть фотографии, где эта макроскопическая цепочка капелек дает нам сведения о таком интересном явлении микромира, как рождение электрона и позитрона световым квантом вблизи атомных ядер. Перед нами опять своеобразная «проекция» явления микромира на макромир.

Эта возможность макроскопического наблюдения микромира определяется тем, что микро- и макромир не разделены непроходимой пропастью, что между микро- и макромиром устанавливается связь, взаимодействие. Это взаимодействие в каждом конкретном случае приводит к тому, что меняется в конце концов макроскопическое состояние какой-то системы (прибора). В этом заложена объективная возможность истолковывать в терминах классической механики каждый данный случай взаимодействия с микромиром. Всегда возможна мысленная замена (подстановка) микрофактора, действующего на макроприбор, «классическим» фактором, приводящим к такому же изменению состояния прибора как объекта классической механики. Этим же определяется возможность и в известном смысле необходимость истолкования законов микромира в терминах классической механики.

Ту же мысль можно передать наглядной схемой, которую легче описать словами, чем нарисовать. Макроскопический прибор «В» регистрирует какое-то явление микромира, он дает его макроскопическую «проекцию». От явления микромира (будем его называть «А») к его макроскопической проекции идут точки: это значит, что данный макроскопический аппарат не дает «подробного» анализа описания самого микроявления, всех его сторон, он регистрирует лишь его данную макроскопическую «проекцию».

Макроскопический наблюдатель по макроскопической проекции начинает воссоздавать объект «А». В его распоряжении имеется только макроскопический материал. Это элементарные понятия, найденные, открытые им при исследовании макромира, — понятие волны, понятие части-

цы, координаты, скорости, вращения и т. д. Их достаточно для описания каждого конкретного случая изменения, наступающего в приборе, подчиняющемся классической механике. В этом объективный залог успеха описания явления «А» в терминах классической механики. Правда, наблюдатель не может из классического материала построить непротиворечивую модель того или иного фактического явления в микромире, но может со всякими оговорками в макроскопических терминах («кентаврообразной» комбинацией классических понятий) *исчерпывающе* рассказать о свойствах объекта «А», влияющих именно таким образом на прибор «В».

В этом аспекте квантовая теория представляет собой именно такую теорию, которая дает толкование, предсказание результатов наблюдения явлений микромира с помощью экспериментальной установки, описываемой чисто классическим образом.

Конечно, по существу своему квантовая теория является теорией микромира, она возникла при нашем проникновении в микромир, ее предметом являются объекты микромира и его закономерности, но «язык» и внешняя форма теории макроскопичны, «классичны».

Кстати, употребляемый нами термин «проекция» микромира на макромир может повести к известному недоразумению, если считать, что с помощью макроскопических проекций мы получаем не исчерпывающее знание микромира, а лишь знание какой-то одной из его сторон. Используя термин «проекция», мы действительно имели в виду, что в каждом данном опыте мы получаем не исчерпывающее знание свойств микрообъекта, а только данную его макроскопическую проекцию. Все же свойства микрообъекта исчерпываются всей совокупностью возможных макроскопических опытов, реализующих всевозможные случаи взаимодействия микрообъекта с различными макроприборами. Исчерпывающее знание микрообъекта дается всеми его макроскопическими проекциями, как пространственный образ исчерпывается его тремя проекциями... Конечно, эта аналогия поверхностна: она не отражает, например, взаимонесключающий характер некоторых «проекций».

Замечание о термине «проекция» имеет своей целью предостеречь от очень распространенной, но неправильной оценки роли макроприбора, когда макроприбор, ис-

следующий микромир, из орудия познания микромира превращают в непреодолимую преграду на пути этого познания.

Изыбленный прием идеалистической философии — давать вещам толкование, диаметрально противоположное их реальному содержанию, и любоваться этим извращением как рафинированной тонкостью мысли: то ощущения, посредством которых внешний мир становится достоянием нашего сознания, начинают истолковывать не как инструмент знания, а, наоборот, как источник заблуждения; то измерительный прибор, дающий точнейшие сведения о микромире, начинают рассматривать как некую преграду на пути познания микромира.

Макроскопический прибор не ограничивает нашего знания, а лишь придает ему макроскопическую форму.

Здесь для всего анализа вопроса существенна макроскопическая форма познания микромира, определяемая макроскопическим положением человека.

Квантовая механика не могла бы появиться у микро-сущест, «населяющих» мир атомов и электронов; для них не было бы никакой ни необходимости, ни надобности смотреть на свой мир через макроскопический аппарат, подчиняющийся законам классической механики.

Макроскопическое положение человека, существенная роль макроскопического прибора придает некоторые новые черты как проблеме субъекта и объекта в физике, так и понятию физической реальности.

Деление на субъект и объект

В проблеме познания правильное разделение на субъект и объект очень существенно, и преувеличение субъективной стороны вопроса часто являлось источником заблуждений и приводило в лоно идеалистической философии.

До научного проникновения в микромир объективный мир представлялся как мир «однородный». Прибор наблюдения, физический прибор, не играл никакой принципиальной роли в процессе познания: прибор молчаливо считался простым продолжением наших органов чувств. Наше сознание и объективный мир связывало, в сущности, только одно звено — ощущение.

Научное проникновение в микромир принесло с собой в известном смысле деление объективного физического

мира на макро- и микромир. Причем благодаря особенности познавательной деятельности человека этот микромир отражается в нашем сознании не непосредственно, а через макромир, через макроскопический прибор.

Если бы микромир был просто уменьшенной копией макромира, то «посредничество» прибора с теоретико-познавательной точки зрения совсем не было бы существенно. Постепенно выяснилось, однако, что закономерности микромира существенно отличны от закономерностей макромира. А судить о них приходится нашему сознанию через отражение их в макроскопических закономерностях. Поэтому отражение микромира в нашем сознании имеет две ступени: а) отражение этого мира в макромире, а затем б) отражение макромира в наших восприятиях, в нашем сознании. Надо подчеркнуть, что первая ступень отражения весьма существенна и своеобразна. Прибор «чувствует» микромир и выражает его на макроязыке.

Очень часто встречаются утверждения, что квантовая теория будто бы внесла кардинально новое в классическое деление на субъект и объект. Здесь не обошлось без некоторого смешения понятий. Поводом к этому недоразумению послужило именно новое звено между объектом микромира и нашим сознанием, т. е. макроскопический прибор. Самое же недоразумение заключается в том, что это звено часто по произволу относят то к субъекту, то к объекту. Такое «маневрирование» прибором не всегда остается философски безнаказанным.

Как мы увидим ниже, квантовая теория не внесла ничего нового в самое «деление на субъект и объект» в его общепhilosophическом смысле, но она внесла существенно новое в вопрос взаимоотношений субъекта и объекта, раскрывая шире понятие физической реальности и макроскопическую форму нашего знания микромира.

Понятие физической реальности

Во избежание недоразумений необходимо с самого начала подчеркнуть, что в дальнейшем речь пойдет о понятии физической реальности как о некотором новом понятии квантовой теории. Под физической реальностью понимается та форма реальности, в которой реальность проявляется в макроприборе.

Мы видим, таким образом, что это понятие физической реальности значительно уже того широкого определения реальности, к которому мы привыкли в философии. Наша ближайшая задача — выяснить взаимоотношение этих понятий.

Согласно квантовой теории, однозначное определение понятия физической реальности включает в себя необходимым элементом указание на экспериментальную установку, с помощью которой получают результаты, относящиеся к данной физической реальности. Само измерение, само наблюдение существенным образом отражаются на результатах наблюдения. Выше мы подробно обсуждали ту своеобразную ситуацию с двумя взаимно исключаящими классами измерений. Здесь нас интересует чисто теоретико-познавательная сторона вопроса, именно: что нового в философское понятие объективной реальности вносит квантовая теория? Некоторые авторы утверждают, что в этом фундаментальном вопросе квантовая теория делает существенный шаг от материализма, под знаменем которого развивалась классическая физика, к идеализму.

Но при ближайшем рассмотрении оказывается, что на самом деле авторы обсуждают неудачу метафизического материализма. И замечания их не имеют никакого отношения к диалектическому материализму.

«Однозначное определение понятия физической реальности включает в себя необходимым элементом указание на экспериментальную установку...»

Рассматривая экспериментальную установку как элемент объективного мира, мы, с точки зрения теории познания (не с точки зрения узкофизической), в определении понятия физической реальности квантовой теории *не находим ничего нового*. Конечно, с физической точки зрения сами реальности полны неклассического своеобразия. Физик теперь в смысле отношения к реальности различает случаи, когда он измеряет координату электрона, от случая измерения импульса электрона. Так как характер измерения существенно входит в определение физической реальности, то реальность в первом случае отлична от реальности в случае втором: электрон в первом случае «не тот», что электрон во втором случае. Но как в первом, так и во втором случаях реальности существуют объективно, независимо от сознания самого физика. *Поэтому и в квантовой области в практической деятельности физика*

не возникают новые гносеологические проблемы в трактовке понятия физической реальности.

Но можно предложить вопрос: а если нет экспериментальной установки, то, что же, нет и объективной реальности? Существует ли электрон, когда на него не смотрят? Существует ли объективный мир, когда его не наблюдают?

Если некоторые философские школы утверждали, что в мире нет ничего, кроме наших ощущений, «показаний наших органов чувств», то не пытается ли современная физика утверждать, что в мире нет ничего, кроме «показаний физических приборов»? Не значит ли это появление своеобразного «приборного идеализма» и попытку истолковать отсутствие прибора как отсутствие объективного мира?

Характерным признаком любой модификации материализма является признание существования объективного мира независимо от нашего сознания, признание его объективного существования и до нашего опыта.

Спрашивается: не противоречит ли это утверждение существования объективного мира системе понятий квантовой теории?

Как мы уже подчеркивали, физик отличает случай измерения импульса электрона от случая измерения координаты. Электроны в первом и во втором случаях рассматриваются как различные физические реальности. *Но физик вместе с тем ясно отличает эти два случая от третьего, когда электрона вообще нет*, когда имеется в наличии экспериментальная установка для измерения координаты, имеется в работе установка, измеряющая импульс, но не удается измерить ни то, ни другое. Иначе говоря, для успешного проведения наблюдения координаты или другого опыта — наблюдения импульса — необходима *общая* для двух опытов объективная предпосылка существования, объективного существования «нечто» до опыта.

Такое общее понятие существования электрона имеется в квантовой теории наряду с более конкретным характером физической реальности. Если электрон существует в природе, то соответствующий интеграл, взятый по всему бесконечному пространству, равен единице; если электрона нет в наличии, то соответствующее выражение исчезает. Это — очень общее понятие существования, для которого не имеют значения тот или иной конкретный характер «состояния» электрона (т. е. волновая функция), характер той

установки, с помощью которой получены конкретные сведения об электроде.

Математически последнее обстоятельство выражается тем, что в результате интегрирования получается число единица, независимо от вида самой волновой функции, описывающей состояние.

Квантовая теория не только не противоречит признанию существования объективного мира до всякого опыта, но, как и классическая теория, предполагает его. *То понятие существования, о котором шла речь выше, ничем не отличается от соответствующего классического понятия.*

В каком же отношении находится это общее и абстрактное понятие существования к более конкретному понятию физической реальности квантовой теории?

С субъективной точки зрения, понятие физической реальности квантовой теории, как мы неоднократно подчеркивали, носит на себе печать макроскопической познавательной деятельности человека. Физическая реальность квантовой теории не дается простым созерцанием, она включает в себя момент активной человеческой деятельности, когда с помощью макроприбора проектируется реальность микромира на макромир — в сферу непосредственно познавательной деятельности макроскопического существа.

Понятие физической реальности квантовой теории в этом смысле «человечно», оно подчинено человеческой деятельности.

Это понятие физической реальности *естественным образом* не возникло бы у жителей микромира, ибо оно существенным образом предполагает аппарат измерения, подчиненный макроскопическим законам классической механики.

Такое понятие физической реальности квантовой теории существенным образом связано с макроскопической формой нашего знания микромира. Это с точки зрения субъективной.

С объективной же точки зрения физическая реальность квантовой теории есть, если можно так сказать, макроскопическая форма проявления реальности микромира, она является макроскопической формой отражения микромира. В этой форме микрозакономерность, микромир делаются непосредственно доступными человеку как макроскопическому существу. Естественно, что макроскопическая

форма этой реальности не менее объективна, чем всякая другая.

Специфическое понятие физической реальности квантовой теории совсем не исключает, а предполагает существование объективного мира до всякого опыта, но эта реальность в философском смысле проявляется в специфической форме физической реальности квантовой теории, здесь она получает однозначное толкование в макроскопических понятиях.

Таким образом, утверждение, что электрон существует независимо от нашего опыта, имеет определенный смысл и в квантовой теории, но вопрос, в каком виде существует, как «выглядит» этот электрон «сам по себе», когда его не наблюдают, лишен в некоторых своих свойствах однозначной *макроскопической* определенности. Действительно, само требование описать, «как выглядит» электрон, в скрытом виде подразумевает его описание в макроскопических понятиях. Но для этого необходимо эту реальность «спроектировать» на макромир, а эта «проекция» производится с помощью прибора и оказывается различной в зависимости от характера прибора.

Это, конечно, не значит, что об электроде совсем ничего сказать нельзя, что он превращается в какой-то «бесплотный дух». Многие характеристики электрона не связаны с тем или иным классом макроскопического прибора: заряд электрона, например, его масса, подчинение статистике Ферми, а не Бозе и т. д. Это обстоятельство надо всячески подчеркивать. Но положение электрона и его импульс действительно лишены в указанном смысле однозначной макроскопической определенности.

Метафизический материализм, рассматривая предмет, действительность лишь в форме объекта или в форме созерцания, а не в форме человеческой деятельности, не способен материалистически анализировать это сложное взаимоотношение субъекта и объекта. Он игнорирует специфическое макроскопическое положение субъекта и макроскопическую форму познавательной деятельности человека. Он органически «не принимает» квантовую теорию и предлагает искать такую теорию, в которой действительность выступала бы лишь в форме объекта или в форме созерцания.

Идеализм, развивая и подчеркивая действительную субъективную сторону познания, вместе с тем рассматривает ее

очень абстрактно, без анализа этой действительной стороны как конкретной объективной деятельности макроскопического существа, познающего в своей деятельности макромир, и, таким образом, чудовищно искажает всю ситуацию. Хотя физики под давлением фактов и пришли к фундаментальному открытию макроскопического характера человеческой познавательной деятельности в микромире, которое заключается в открытии того удивительного положения, что при изучении микромира «для толкования всех измерений в собственном смысле необходимо пользоваться классическими представлениями, несмотря на то, что классическая теория не может сама по себе объяснить таких закономерностей, с которыми мы имеем дело в атомной физике» (Бор), философы обычно воспринимают это положение абстрактно, вне связи с макроскопическим положением человека, что и приводит к философской путанице в этом важном вопросе взаимоотношения познаваемого объекта (микромира) и познающего его макроскопического субъекта.

Таким образом, последовательный анализ познавательной деятельности человека в микромире как его макроскопической деятельности не обнаруживает никаких новых научных доводов в пользу идеализма.

Современная физика дает ясное представление, что именно рассмотренному нами ограничению применимости классических понятий она обязана своими удивительными реальными успехами. Но восторг успеха, восторженный перечень совершенных наукой дел приправляются часто некоторой дозой мрачного скепсиса или, осторожнее, — какой-то неудовлетворенностью.

«Неполнота» успеха — этот упрек имеет значение лишь в том случае, если его смысл заключается в утверждении неполноты самой теории, в утверждении, что существует что-то такое, что надо требовать от теории, но теория этого не дает. Возникает вопрос, насколько в этом смысле квантовая механика «полна».

Дает ли квантовая теория «полное» описание физической реальности?

Дает ли квантовая теория «полное» описание физической реальности? Конечно, в своем буквальном смысле этот вопрос более или менее наивен. Мы твердо уверены в том,

что любая теория, если она в какой-то мере подтверждена экспериментом, является лишь некоторым приближением к абсолютной истине. Это соотношение относительной и абсолютной истины, нашедшее свое наиболее совершенное истолкование в работах В. И. Ленина, предстает едва ли не самым замечательным открытием нового времени при анализе природы нашего познания.

Квантовая теория в этом смысле, конечно, не является и не может являться исключением. Физики могут указать на целый список проблем, не нашедших своего решения в квантовой теории. Различные проблемы элементарных частиц космического излучения, ядерных сил, — все это задачи, решение которых физиками часто сознательно связывается с выходом за рамки современной квантовой теории. Вопрос тем не менее имеет некоторое более узкое, но в то же время четкое и однозначное содержание. По этому вопросу лет десять назад развернулась оживленная дискуссия на страницах специальных физических журналов. Дискуссия была открыта статьями А. Эйнштейна и Н. Бора. Она, правда, не привела к каким-либо принципиально новым научным результатам, но привлекла внимание к некоторым другим вопросам и сыграла существенную педагогическую роль.

Существует понятие «полноты» физической теории в рамках ее применимости. Мы имеем в виду «правильную» теорию, т. е. такую теорию, каждое высказывание которой соответствует действительности и может быть хотя бы принципиально подтверждено экспериментами. Анализ вопроса начинается, таким образом, с полного доверия к теории. Теория считается правильной.

Во всей этой полемике ни одна из сторон, ни один из физиков не высказывал, конечно, сомнения в справедливости квантовой теории в области ее применения. В само же понятие *неполноты* теории вкладывалось следующее содержание: *теория не полна, если в рамках теории можно придумать такой эксперимент, проведение которого само по себе не противоречит данной теории, но результат которого теория предсказать не в состоянии.*

Во всей этой полемике своеобразно проявилось то же недовольство квантовой теорией, недовольство заменой «точных» законов классической механики статистическими законами. Мы встречались со статистическими законами в классической форме, как законами, харак-

терными для поведения большого числа частиц. Хотя мы иногда удивлялись необычным, редким, маловероятным случаям поведения такого коллектива частиц, мы всегда предполагали, что каждая частица, каждая молекула движется согласно законам классической механики.

В квантовой теории статистические законы претендуют на универсальную применимость, как единственная форма закономерности для элементарного явления, для поведения квантовой частицы, для поведения индивидуального объекта микромира в его взаимодействиях с макроприбором. С точки зрения классических представлений эта претензия статистической закономерности кажется чрезмерной. Во всяком случае, понятно, что «не хочется без боя» отдавать привычные классические позиции. В этом исторически понятном желании свести новое к привычному, старому возникает попытка трактовать квантовую теорию по аналогии с классической статистической механикой, попытка истолковать ее как теорию статистического коллектива микроэлементов. Квантовая теория в ее современном виде, по мнению автора этой точки зрения, не может служить фундаментом для теории элементарного процесса, как классическая статистическая теория не может служить основанием классической механики.

Согласно этой точке зрения, элементарные процессы микромира не лежат в области применения квантовой теории. Если, таким образом, теория не охватывает какие-то случаи, но им не противоречит, то возможна и даже должна встретиться такая ситуация, когда эксперимент, допускаемый законами квантовой механики, обнаруживает нечто, что не находит своего отражения в теории, что теория не предсказывает. Именно этот смысл имеет утверждение «неполноты» квантовой теории.

Были предложены самые разнообразные мысленные эксперименты, проведение которых будто бы вскрывает неполноту теории, так как они способны дать такие «подробные» сведения об элементарном процессе, которые теоретически не следуют из квантовой механики. Но тщательный анализ их неизбежно вскрывает порочность рассуждения автора. Неизменно выяснялось, что в том случае, если бы эксперимент мог быть поставлен наилучшим и точнейшим образом, то при учете квантовой природы взаимодействия эксперимент способен дать *только то, что предсказывает квантовая теория.*

Таким образом, если имеется такое положение вещей, для которого характерно, с одной стороны, что «теория предсказывает результаты, которые полностью подтверждаются экспериментом», а с другой стороны, что «эксперимент дает такие и только такие сведения, которые предсказываются теорией», то чего же может требовать физика больше, — сверх такой гармонии между теорией и экспериментом? Имеется ли такая гармония теории и эксперимента не в сфере логической, не как гармония между теорией и мысленным экспериментом, а как гармония между теорией и реальным экспериментом?

Здесь существенно напомнить, что эксперимент дает блестящее подтверждение квантовой теории. Если эксперимент когда-либо покажет более подробные сведения в смысле классической механики, то это будет доказательством краха квантовой теории, на что пока нет никаких указаний.

Квантовая теория в данном смысле оказывается полной, замкнутой теорией. Квантовая теория касается элементарных закономерностей микромира и дает о них в терминах классической механики только вероятностные, статистические высказывания.

Таким образом, теория дает статистические предсказания макроскопическому эксперименту, эксперимент — статистические данные теории.

Что же достойно сожаления или упрека?

Если анализ характера нашего знания с точки зрения макроскопически-познавательной деятельности человека делает многое понятным в сложном переплетении проблем современной физики, то вместе с тем возникает вопрос: не ограничивает ли макроскопическое положение человека его познание объективного мира? Разве макроскопическая форма знания исчерпывает объективный мир микромира? Разве требование истолковывать все явления микромира в макроскопической физике не представляет собой своеобразное «прокрустово ложе» для описания явления микромира? Разве ситуация в квантовой теории не напоминает известную мрачную картину из седьмой книги Платона «Государство» ([2], с. 324—325)? Эту картину иногда рисуют авторы философских книг по физике.

В полумрачной пещере сидят прикованные к полу узники. Неверный свет таинственного огня освещает вход в пещеру. За стеной, высотой в человеческий рост, какие-то существа носят на длинных палках чучела животных,

птиц, людей, различные изображения и статуи. Они громко разговаривают между собой, ведут какие-то игры, шествуют в торжественных процессиях. Узники не видят ни этой стены, ни этих существ, ни манекенов — узники закованы, они не могут повернуть головы, и лишь тени транспарантов, рожденные в мерцающем свете отдаленного огня, скользят перед глазами узников по сводам пещеры.

Узники от рождения находятся в пещере, они не знают другого образа жизни, другого существования. Они не знают другого мира, кроме мира теней: тени действуют, тени передвигаются, тени разговаривают. Они знают язык теней, но ничего и никогда — о существах, повинных в этом великом заблуждении.

Если кому-нибудь из этих узников посчастливится в дальнейшем освободиться от оков и заглянуть в мир действительных явлений, он будет несказанно поражен его богатством и разнообразием. Его мир теней покажется бесконечно бедным, жалким и ограниченным. И если в дальнейшем приведет судьба его снова узником в эту пещеру, — он будет жить в мечтах о реальном, полнокровном и красочном мире.

Разве соотношение неточностей, принцип неопределенностей — это не те же оковы, мешающие заглянуть в глубь физических явлений? Разве «макроскопическая проекция» микромира — это не мир теней, а макроскопическое существование человека — не «пещера», в которой человек узник? Разве смутные надежды некоторых физиков на будущую теорию, которая объяснила бы «детальное» (в смысле классическом) поведение элементарного явления, — не здоровая мечта о познании полнокровного физического мира?

Эта поэтическая сказка, однако, не имеет никакого отношения к теории познания. Это только удачный пример очень плохой и поверхностной аналогии. Она может привести и приводит в лучшем случае без всяких на то действительных причин к теоретико-познавательному «самобичеванию» (*ignorabimus*).

Здесь мы воспользуемся удобным моментом еще раз внимательно рассмотреть то, что мы называем «макроскопической формой» нашего знания микромира, рассмотреть в аспекте теоретико-познавательном.

О форме и содержании нашего знания

Мы говорим: «макроскопическая форма» нашего знания. Что это значит? Значит ли это, что возможны различные формы знания объективного мира? Под «формой» знания мы понимаем различные представления о данной реальности, данных реальных отношениях, различный «язык» — если можно так сказать — знания.

Начнем с одного частного и элементарного примера. В математике имеются аналитический и геометрический методы представления одних и тех же реальных математических отношений. Оба метода дают одно и то же знание математических отношений в природе, но форма выражения этих знаний совершенно различная. Настолько различная, что одни из нас предпочитают геометрические представления, другие аналитические. Одни лучше «понимают» геометрический язык, другие — аналитический.

У Дидро в «Письме о слепых в назидание зрячим» рассказывается, как преломляется описание зеркала в представлении слепого: «Я спросил у него, что он понимает под словом «зеркало»? «Это прибор, — ответил он мне, — который придает выпуклость вещам вдаль от них самих, если они расположены подходящим образом по отношению к этому прибору. Это — как моя рука: нет вовсе необходимости, чтобы я положил ее рядом с каким-нибудь предметом, чтобы почувствовать его» ([3], с. 37).

Один и тот же объект — «зеркало» — зрячим и слепым описывается различным языком. У того же Дидро можно прочесть: «Кто-то из нас спросил нашего слепого, был ли бы он доволен, если бы был зрячим. «Если бы меня не одолевало любопытство, то я предпочел бы иметь *длинные* руки; мне кажется, что мои руки рассказали бы мне лучше то, что происходит на Луне, чем ваши глаза и ваши телескопы. Поэтому лучше было бы усовершенствовать у меня тот орган, который я имею, чем наградить меня недостающим мне органом» ([3], с. 32. Курсив мой. — М. М.). *Отсутствие зрения не помешало бы человеку познавать природу, находить ее закономерности, но характер представления природы существенно отличался бы от представления зрячих.*

Приведем еще одну иллюстрацию.

Пусть на плоскости живут плоские мыслящие существа. Их чувству недоступны объемные тела, а по своим представлениям они геометры, а не аналитики.

Пусть в природе имеется трехмерное тело — конус, который в своем движении иногда пересекается с плоскостью мыслящих существ, давая в этом сечении одну из конических фигур. В таких случаях плоские существа констатируют либо круг, либо эллипс, либо параболу, а то и просто пару пересекающихся прямых или даже точку. Пусть в своей активной познавательной деятельности они научились управлять этими событиями, передвигая различным образом какие-то рычаги, — они получают различные конические сечения. Как физическую реальность в своем мире плоские существа воспринимают эти конические сечения. Эти конические сечения представляют собой «формы проявления трехмерной реальности в их двумерном мире». Для наблюдения этой физической реальности требуется плоский аппарат. Этот плоский аппарат и плоскость сама существенным образом входят в самую определенную их понятия физической реальности. В практической деятельности этих существ, на двумерном геометрическом языке с помощью этих пяти геометрических образов до конца исчерпывается трехмерное содержание конуса. Правда, двумерные жители будут различать эллипс и круг как две различные физические реальности, но когда они захотят все многообразие наблюдаемых свойств связать с объектом как источником всех этих наблюдаемых реальностей, они будут говорить в каком-то смысле о «сосуществовании» всех этих образов в одном объекте, т. е. о «кентаврообразности» объекта. Во всяких аналогиях наряду с необходимыми иллюстративными чертами можно всегда найти известные недостатки. Но аналогии в данном случае помогают нам задержать внимание на самой возможности с различных объективных точек зрения подходить к объективному миру, отражать мир в различных представлениях, особенно когда познание рассматривается конкретно, как деятельность реального субъекта, а не в форме простого созерцания.

Оставляя в стороне все эти примеры и иллюстрации, сформулируем интересующие нас вопросы по существу. Нас интересуют в основном два вопроса. Первый из них — это насколько полностью может быть отражен объективный мир, микромир в особенности, в классических понятиях импульса и координаты? И второй вопрос: не возможен ли для нас принципиально другой подход к микро-

миру — отражение его в совсем иных понятиях, нежели понятия классической механики?

На первый вопрос мы, в сущности, дали ответ, анализируя саму возможность макроскопической формы познания микромира. Эта возможность определяется тем фактом, что явления микромира отображаются в явлениях макромира и воспринимаются человеком в этой макроскопической проекции. Так как каждое явление макромира представляется в пространственно-временных и энергетических понятиях (импульс и координаты), то и каждое макроскопическое проявление конкретного микроявления, макроскопическое его отображение, следовательно, как уже фактически макроскопическое явление, по определению, обязано отображаться в макроскопических понятиях. Следовательно, в макроскопических понятиях не может быть выражено только то, что принципиально не проявляется в макромире. Квантовая теория с некоторой точки зрения представляет собой теорию особого класса макроскопических явлений, связанных с микромиром взаимодействием.

Существование взаимодействия — это объективная предпосылка макроскопических проявлений микромира.

Нам кажется неправильным, антинаучным утверждать, что «что-то» не проявляется в макромире, «что-то» удивительным образом не может принципиально взаимодействовать с ним. Как неоднократно указывалось в работах основоположников диалектического материализма, обсуждение такого «засекреченного» мира лишено всякого смысла: «Это утверждение, что мы не способны познать вещь в себе..., во-первых, выходит из области науки в область фантазии. Оно, во-вторых, ровно ничего не прибавляет к нашему научному познанию, ибо если мы не способны заниматься вещами, то они для нас не существуют. И, в-третьих, это утверждение — не более чем фраза, и его никогда не применяют на деле. Взятое абстрактно, оно звучит вполне вразумительно. Но пусть попробуют применить его. Что думать о зоологе, который сказал бы: «Собака имеет, по-видимому, четыре ноги, но мы не знаем, не имеет ли она в действительности четырех миллионов ног или вовсе не имеет ног?»» (Ф. Энгельс. «Диалектика природы». — К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 20, с. 555—556).

Некоторые авторы, склонные к пессимизму, могут найти здесь повод для своего теоретико-познавательного «самоистязания» — такой теоретико-познавательный «шахсей-

вахсей» можно наблюдать в зарубежных странах на страницах философской литературы. Сами физики здесь также не являются исключением.

В действительности, все, что встречается в человеческой деятельности в макромире, т. е. все, что в этом макромире отображается, все, что с ним взаимодействует, — все это может быть познано человеком. И самая возможность отображения микромира в классических понятиях импульса и координаты связана *только* с классическим вопросом: насколько эти классические понятия правильно отображают макромир (это не опечатка, именно макромир), насколько классическая макроскопическая механика в сфере ее непосредственной применимости (макроскопическая механика) справедлива? И обратно, в этих понятиях не может быть выражено только то, что с макромиром принципиально не взаимодействует, то, что никогда не встречается в опыте.

Остается второй вопрос: не возможен ли принципиально другой подход к микромиру: отображение его в совсем иных понятиях, нежели понятия классической механики?

Возможно ли отображение микромира в иных понятиях, чем понятия классической механики?

Иногда, обсуждая удивительное своеобразие закономерностей микромира, высказывают соображения, которые ставят под сомнение «адекватность» современного аппарата квантовой теории задачам отображения микромира. Мы пытаемся выразить и выражаем особые закономерности микромира в макроскопических понятиях. Для отображения микромира в этих понятиях требуется их «кептарообразное» сочетание.

Не является ли задачей физики будущего найти эти будто бы «более адекватные» микромиру физические понятия? Мы сами неоднократно подчеркивали нашу макроскопическую «невежливость» в обращении с макромиром — мы пытаемся входить в микромир «в пальто и калошах», — но в конце концов проявление нашей «вежливости» заключается в том, что мы снимаем «только пальто» или «только калоши»: подходим к микроявлениям либо «с точки зрения» координаты, либо «с точки зрения» импульса. Нельзя ли снять и «пальто» и «калоши»? Можно думать,

что в иных понятиях, например, мы снова вернемся к нестатистической концепции и т. д.

В этом вопросе имеются две стороны: одна тривиальная, которая заключается, по существу, в том же старом затаенном чувстве «недоверия» к полноте квантовой теории, в стремлении обнаружить «скрытые» параметры, которые приблизили бы, по существу, теорию квантовую к теории классической.

В этом узком аспекте вопросы ставились строго математически с самого почти возникновения квантовой теории. Существуют общие математические теоремы, утверждающие, что такие скрытые понятия, параметры несовместимы с квантовой теорией в ее современном виде, несовместимы именно в той ее области, в которой она блестяще оправдана опытом. Доказательства эти с общей точки зрения, правда, существенно ограничены определенным классом математических выражений, представляющих физические величины «скрытых параметров».

В широком логическом аспекте вопрос сводится пока к неопределенному пожеланию будущей теории «более адекватных понятий».

Против такого неконкретного пожелания трудно найти какое-либо конкретное возражение, но анализы конкретных предложений, если они появятся, всегда целесообразны. Правда, надо сказать достаточно определенно, что тенденция в развитии физики не идет в этом направлении.

В первые годы создания квантовой теории физики часто обсуждали так называемый принцип наблюдаемости. «В теорию должны входить только принципиально наблюдаемые величины», — говорили физики, анализируя новую ситуацию в новой теории. Иногда этот принцип рассматривался едва ли не как основное достижение современной физики, как методологический принцип, дающий чуть ли не однозначную возможность при построении новой теории. Может быть с этим принципом связан ответ на наш вопрос? Этот принцип действительно оказал известную помощь авторам квантовой теории. Но как универсальное конкретное орудие он содержит, к сожалению, существенный порок неоднозначности: какие величины считать принципиально наблюдаемыми?

Если считать, что ответ на этот вопрос должен дать эксперимент в тесном смысле этого слова, то принцип становится тривиальностью. Если дело идет о величинах,

принципиально наблюдаемых в мысленных экспериментах с точки зрения данной теории, то принцип в иных словах вскрывает, в сущности, непротиворечивость теории или отсутствие в ней «лишних» элементов.

Во всяком случае, этот «принцип» нельзя рассматривать как единственный фактор при построении новой теории. Более того, если рассматривать науку в ее развитии конкретно, то, в сущности, ясно, что физика всегда неизбежно «захламлена» всякими ненаблюдаемыми понятиями. В физике сегодняшнего дня — и ненаблюдаемый фон электронов в состояниях отрицательной энергии, и, по-видимому, неполная наблюдаемость волновой функции, так как эксперимент непосредственно дает значение квадрата ее амплитуды, и т. д. И все это существует в физике наряду с требованием ее создателей, чтобы в теорию входили только наблюдаемые величины. Они уживаются рядом с этим принципом, говоря житейским языком, может быть, только потому, что «до них не дошли руки». Но, с другой стороны, здесь не простая небрежность и попустительство: это исторически естественный и необходимый момент развития науки. Если бы наука была чиста от них, она бы перестала развиваться — такая теория была бы истиной в конечной инстанции, абсолютной истиной. В этом «хламе» заложены возможности дальнейшего развития науки. Правда, такое толкование науки содержит в себе противоречие, но это — жизненное противоречие науки.

Нельзя развитие науки излагать так: «И вот голову физика осенит мысль: посмотрю я, какие понятия не наблюдаемы, выброшу весь хлам и построю настоящую теорию». Ничего из этого не выйдет, а главное, *не выходит*. «Хлам» выбрасывается тогда, когда он становится в физике практически ненужным, что дается самим ходом развития науки, а не абстрактным применением принципа наблюдаемости.

Наконец, имеется некоторая неясность в необходимости и даже обоснованности формулировки принципа: «В теорию должны входить *только* наблюдаемые величины». Не слишком ли большое ограничение налагает этот принцип на нашу способность к абстракциям? Действительно, в своих конечных результатах теория должна давать эксперименту лишь наблюдаемые данные. Для предсказания результата эксперимента теория должна требовать наблюдаемых начальных данных, но каждый этап пути получе-

ния конечных результатов — промежуточные этапы в аппарате теории, — должны ли они подчиняться требованию этого принципа? Т. е. этот вопрос требует обсуждения.

Во всяком случае, имеется опасность, что в такой жесткой формулировке принцип является таким же произвольным ограничением, как и классическое требование наглядных представлений, и столь же антинаучным.

Надо заметить, что наряду с четко выраженным желанием известных авторов квантовой теории ввести как некоторый верховный принцип принцип наблюдаемости, практически развитие квантовой механики выдвигало конкретные формы теории, в своей основе прямо противоположные этому принципу.

Исключительно любопытно, с этой точки зрения, научное творчество Дирака. Его «ненаблюдаемый» фон электронов отрицательной энергии стал безусловным достоинством науки.

К самой конкретной идее «фона» можно относиться по-разному: возможно, что в будущей теории идея примет какие-то иные формы, но факт остается фактом: двумя десятилетиями подтверждается ее огромная эвристическая ценность. Во всяком случае, развитие современной физики было бы существенно задержано, если бы, уступая требованию принципа наблюдаемости, в свое время отвергли теорию Дирака.

Таким образом, принцип наблюдаемости в его несомненной части вряд ли содержит больше, чем тривиальное утверждение, что теория должна соответствовать эксперименту. Таким образом, и здесь мы не находим логического ответа на наш вопрос.

Но вопрос все-таки имеет более конкретное содержание не в чисто логическом аспекте, а с точки зрения познания как конкретной человеческой деятельности.

В сфере своей деятельности человек встречается с пространственно-временной локализацией событий и с энергетическим взаимодействием объектов. Всякий опыт ставится в пространстве и во времени, и каждое взаимодействие, по которому делаются заключения о предмете, как известно, исчерпывается энергетическим взаимодействием. Понятия пространства-времени, понятия энергии (материал) импульса являются отображением в сознании человека его непосредственно макроскопического бытия. Если считать вместе с классической физикой, что это отображе-

ние в макроскопических пределах правильно, то какой смысл в предложении искать новые основные понятия для трактовки явлений микромира, понятия иные, чем координата и импульс, время и энергия (материя)? Ведь микромир всегда познается в форме макроскопического проявления.

Смысл предложения, по-видимому, заключается в том, что понятия энергетические и пространственно-временные отображены человеком в его макроскопической деятельности, поэтому они могут быть не адекватны микромиру, что многие наши затруднения отображают лишь недостаток языка макроскопических понятий и этот недостаток подлежит исправлению. Во-первых, этот «недостаток» связан с макроскопическим существованием человека, а поэтому «просто» непоправим, а во-вторых, не нуждается, по-видимому, в исправлении, так как не препятствует познанию природы. Действительно, тезис, утверждающий, что «макроскопический» язык недостаточен для выражения макроскопическим наблюдателем микроразнообразия, ложен. В самой основе он опровергается тем обстоятельством, тем фактом, что от явлений микромира в макромир идет цепочка взаимодействий, что микромир при всем своем своеобразии *взаимодействует* с макромиром, и это взаимодействие, каждый его случай, с точки зрения макроскопического партнера, *обязан* истолковываться в макроскопических понятиях потому, что они только и характеризуют макроскопического партнера.

Если раньше, исходя из факта взаимодействия микромира с макромиром, мы выяснили возможность толкования микромира в макроскопических понятиях, то теперь из анализа макроскопического бытия человека следует, что эта возможность должна реализоваться в нашей теории, по-видимому, довольно однозначным образом, что идея «принципиально немакроскопических» понятий пока не имеет большого конкретного содержания в макроскопической деятельности человека, познающего микромир.

Из анализа макроскопической познавательной деятельности человека вытекает только, конечно, принципиально макроскопический характер этих понятий, с помощью которых отображается микромир, и ни в коем случае не предпринимается конкретный смысл этих понятий. Только анализ макрофизики указывает на импульс и координату или вообще на так называемые канонические

сопряженные переменные, в которых наиболее последовательно и исчерпывающе отображается макромир.

Отсюда также следует, что дальнейшее развитие физических теорий, по-видимому, также не должно порывать с элементами пространственно-временных и энергетических отношений. Это, разумеется, совсем не значит, что наши физические представления о микромире не подлежат дальнейшим изменениям, что пространственно-временные отношения не будут обогащаться новыми фактами, но все эти факты будут, по всей вероятности, все же подчинены макроскопическому эксперименту, протекающему во времени и в пространстве, и всякое явление будущей физики также через цепочку взаимодействий должно оказывать влияние на наш прибор, изменяя его состояние, и на органы наших чувств; оно не только должно быть отлично от вещей микромира, но чем-то «похоже» на них, чтоб иметь *возможность* с ними взаимодействовать, чтоб иметь *возможность* проявляться *в нашем опыте*. Ведь «таким образом» явление может изучаться, а многообразие свойств микрообъекта благодаря этому взаимодействию — исчерпываться многообразием проявления микрообъекта в нашем макроскопическом опыте.

Можно подумать, что мы слишком большую роль отводим тому «земному», макроскопическому, что характерно для современной квантовой теории, что мы, наконец, приписываем могучую роль абстрактного мышления. Это неверно: достаточно раскрыть любую книгу по квантовой теории, чтобы убедиться в колоссальной роли и возможностях абстрактного мышления, убедиться в том, что макроскопическая форма нашего знания микромира предъявляет огромные требования именно к абстрактному мышлению, роль которого непрерывно возрастает.

Современная физика и идеализм

Современная физика, как мы видели, не дает никаких аргументов в пользу идеализма. Наш анализ показал, что их нельзя найти ни в физическом, ни в философском понятии реальности, ни в проблеме субъекта и объекта.

Почему же, однако, многие зарубежные авторы считают, что «современная физика идет в направлении идеализма»? Почему, несмотря на фактически материалистическое содержание современной физики, создатели ее в своих

философских истолкованиях, за немногими исключениями, становятся на идеалистическую точку зрения?

Исчерпывающий ответ на этот вопрос дается работами В. И. Ленина, которые сохраняют свою актуальность и на настоящем этапе развития науки. Здесь мы ограничимся лишь частной, более узкой стороной вопроса.

Почти до начала текущего столетия физики рассматривали изучаемую ими действительность только «в форме созерцания», а не с точки зрения человеческой деятельности. Познающий субъект, человек, и его макроскопическое положение в природе, макроскопический характер его познавательной деятельности не налагали никакого «субъективного» отпечатка на природу нашего знания. Процесс познания если и трактовался как деятельность субъекта, то как деятельность чисто созерцательная.

В своей практической деятельности физик — всегда стихийный материалист, а такой чисто созерцательный характер познания всецело укладывается в философскую концепцию метафизического материализма, который исторически и был связан с классической физикой. Впервые ясное рассмотрение нашего познания под углом зрения человеческой деятельности вопло в физику вместе с теорией относительности. Теория относительности нанесла сокрушительный удар созерцательному характеру нашего представления о действительности.

В физических рассуждениях появился «наблюдатель», он прочно «усаживается» в «данную систему координат». Хотя законы природы формулируются независимо от этого наблюдателя и присутствие наблюдателя ни в какой мере не уменьшает объективного характера природы, представления многих отношений мира в данной системе координат иначе выглядят, чем в других; здесь иные длины, иные длительности, иные события одновременны⁴. Эти отношения останутся теми же, если наблюдателем в данной системе координат будет физический прибор. В этом смысле все эти отношения в данной системе координат также объективны. Но с точки зрения человеческой деятельности, практически, в известном смысле, важно указать ту си-

стему координат, в которой ведутся наблюдения, так как конкретное проявление закономерностей в вариантных величинах в ней своеобразно. Это своеобразие свойственно данной системе координат. Это значит, что в практической конкретной познавательной деятельности человек смотрит на мир с какой-то, правда, объективной, но данной определенной, одной, «конкретной» позиции, под данным объективным, но отличным от других «углом зрения». Метафизический материализм видит в этом «субъекте» — наблюдателе посягательство на саму объективность существования мира и до сих пор не может и не в состоянии примириться с теорией относительности.

Квантовая теория привнесла с собой еще в более конкретной форме рассмотрение действительности с точки зрения человеческой познавательной деятельности, с точки зрения макроскопической «системы координат», с точки зрения макроскопической деятельности человека. Для человека, для познающего субъекта, как макроскопического существа, характерно познание микромира через отображение его в макроявлениях. Это отображение, как показывает квантовая физика, не однозначно и зависит от способа отображения, от той или иной экспериментальной установки. Хотя выбор экспериментальной установки находится всецело во власти субъекта, эта активная роль субъекта несколько не противоречит объективности данного способа макроскопического проявления микромира, так же, как человеческая деятельность вообще не противоречит существованию объективного мира, а предполагает его. Но становится совершенно невозможным созерцательное отношение к действительности.

Перестает быть однозначным старый, казалось бы, всегда ясный и определенный вопрос: как «выглядит» электрон сам по себе, когда его не наблюдают? С одной стороны, вопрос требует ответа, как электрон «выглядит». С точки зрения познания как человеческой деятельности это значит: как, каким электрон встречается в человеческой деятельности, в опыте? Квантовая теория утверждает, что «выглядеть» электрон будет по-разному в зависимости от того, как «смотреть»: какие установки применять при наблюдении. Но в вопросе поставлено условие: «когда не наблюдают», т. е. когда не указывается характер установки наблюдения. Это условие лишает возможности однозначного ответа. Ситуация совершенно аналогична

⁴ Несмотря на то, что законы природы выражаются независимо от системы координат, наблюдение их всегда ведется в какой-то конкретной координатной системе. Невозможно расположить приборы и наблюдать мир с какой-то «внесистемокоординатной» точки зрения.

вопросу: какова траектория или «какова длина стержня безотносительно к какой-либо системе координат»? Отказ от ответа не значит, что стержень вообще не существует, что электрон вообще не существует, но лишь означает неправильную постановку вопроса.

Современная физика после долгих исканий пришла к квантовой теории как теории, толкующей в классических понятиях результаты наблюдения микроявления с помощью макроприбора: пришла к уяснению своеобразной макроскопической формы нашего знания микромира, отнюдь не исходя из теоретико-познавательного анализа характера познания макроскопического субъекта, а чисто «эмпирически». В современном изложении квантовой теории ее классический характер кажется случайным, кажется удивительным, что «необходимо пользоваться классическими представлениями, несмотря на то, что классическая теория не может сама по себе объяснить тех новых закономерностей, с которыми мы имеем дело в атомном мире» ([5], с. 189—190).

В этой фразе сквозит большое удивление. Удивление колоссальному успеху самой возможности с помощью именно этих классических представлений давать исчерпывающее истолкование явлений микромира. Любопытно, однако, что никакой попытки теоретико-познавательного анализа причин такой удивительной ситуации никем не делалось. Эта ситуация трактуется абстрактно, «как данная».

Нельзя созерцательно воспринимать микромир, микроявления, надо предварительно отобразить его в макромире. Для этого необходима активная деятельность познающего субъекта.

Метафизический же материализм стал в оппозицию к развивающейся науке — оппозицию, в известном смысле, воинствующую, так как она требует изгнания субъективных моментов из познания, изгнания из него его действительной стороны. Практически, фактически, как показывает полустолетнее развитие науки, метафизический материализм не предложил ничего взамен критикуемого. Но метафизический материализм лишь на словах объявляет непримиримую войну «субъективизации» природы. На самом же деле такой ложной «объективизацией» он привносит субъективные моменты, искажающие действительную картину объективного мира. Это стремление к ложной объек-

тивизации доводится до своего логического конца в известном павном вопросе озадаченного ученика, с которым он обращается к своему учителю: ученик добросовестно усвоил все перипетии с историей открытия электронов и изучением его свойств, но никак не может постигнуть, как обнаружили, что данная частица называется электроном.

Эта «глубокомысленная» проблема не слишком далека от тех проблем, над которыми в течение многих десятилетий безуспешно бьется метафизическая мысль механистического материализма. Метафизический материалист — большой мастер ставить несуществующие проблемы.

Отправляясь с хорошими намерениями исследовать процессы, объективно протекающие в природе, метафизический материалист на своей «снипе» приносит «визанку дров» в общий «идеалистический костер» («sancta simplicitus».)

Но физика продолжала развиваться своими путями. Действенная, субъективная сторона познания, ее человеческий земной характер выступили ярче.

Субъективная, действенная сторона познания, в противоположность метафизическому материализму, развивалась идеализмом, хотя абстрактно и односторонне. Во всяком случае, здесь физика, освобождаясь от уз метафизического материализма, нашла готовую систему понятий, готовую терминологию, выражающую субъективные моменты познания и большое желание видеть в науке подтверждение своих философских позиций.

Эти «услуги» идеализма в какой-то мере «оплачены» в высказываниях многих крупнейших физиков, создателей современной квантовой теории, но оплачены все-таки «фальшивой монетой»: физика, как мы видели, не подтверждает идеализм.

Освобождая современную физику от уз метафизического материализма, идеалистическая философия пытается в той или иной мере «освободить» ее от признания объективного мира.

Если метафизический материализм игнорирует субъекта, его конкретную познавательную чувственно человеческую деятельность и абстрактно-метафизически трактует объективный мир, то идеализм игнорирует объективный мир и односторонне, абстрактно-метафизически рассматривает роль субъекта в познании объективного мира.

Метафизический материализм не может примириться с квантово-механическим определением понятия физической реальности, так как оно дано под углом зрения макроскопической познавательной человеческой деятельности.

Идеалистическая философия с энтузиазмом воспринимает этот макроскопический и человеческий «субъективный» угол зрения, но искажает его конкретное объективное содержание. Объективное содержание его безнадежно исковеркано односторонним и абстрактным подходом к толкованию познавательной деятельности.

Только диалектический материализм гарантирует полноту рассмотрения вопроса.

Диалектический материализм рассматривает познающее существо — человека — в противоположность идеализму не абстрактно, а как часть того же объективного мира, как конкретно существующего человека. Познавательная способность субъекта рассматривается диалектическим материализмом не как абсолютная познавательная характеристика некоего абстрактного познавательного «начала», а, наоборот, рассматривается совершенно конкретно, как познавательная способность человека, которая появилась на определенной ступени развития материи в процессе материально-трудовой и общественно-исторической практики людей.

Такое общее и вместе с тем конкретное рассмотрение взаимоотношения субъекта и объекта, объективного мира в целом и познавательной деятельности человека исключает возможность теоретико-познавательных заблуждений. Конкретное физическое содержание объективного мира и его закономерностей раскрывается физикой, подтверждается согласием физической теории с экспериментом и не может быть предписано априори.

О СОВРЕМЕННОЙ ФОРМЕ АТОМИЗМА * (О ПОНЯТИИ ЭЛЕМЕНТАРНОЙ ЧАСТИЦЫ)

Исторические аналогии

Чуть ли не с самого начала человеческой истории умами людей владела идея — найти элементарные сущности, из которых складывается мир.

В различные времена различные сущности под разными названиями рассматривались как фундаментальные в природе.

Одни из этих сущностей обладали дискретным характером, что нашло, например, в древнем понятии «атома» одно из наиболее ярких своих воплощений; для других фундаментальных сущностей специфичны свойства непрерывности («стихии» древних, «поля» в физике недалекого прошлого).

В данном аспекте история физики — это в известной мере история борьбы идей дискретности (атомизма) и идей непрерывности, история борьбы идей Демокрита с идеями Эмпедокла. Менялась форма враждующих идей, прежним оставалось содержание. Существует легенда о том, что воины, павшие в битвах минувших времен, пробуждаются к жизни, чтобы в почной тишине продолжать нерешенную битву. Так на разных исторических этапах воскрешается жестокая борьба идей атомизма с идеями непрерывности.

Тит Лукреций Кар, выражая безграничное уважение к Эмпедоклу Акрагантскому — «... и подумать нельзя, что рожден он от смертного корня» ([6], с. 49), — резко критикует идеи непрерывности школы Эмпедокла: «...не знают они и пределов деления тела И никогда никакой границы дробленью не ставят, Предполагая, что нет у вещей величин наименьших...» ([6], с. 49).

А восемнадцать веков спустя Эйлер называет скудным идею атомизма. В «Письме к немецкой принцессе» он писал:

«Когда в собраниях разговаривают о философических материях, то по большей части о таких, кои повод дали к великим распрям между философами.

* «Вопросы философии», 1960, № 3.

Делимость тел есть такая статья, и мнения ученых об оной суть между собой различны. Иные утверждают, что тела делиться могут бесконечно, так, что никогда нельзя дойти до столь малых частиц, которых бы далее делить невозможно. Другие, напротив того, утверждают, что это деление простирается только до некоторого предела и что, наконец, должно дойти до столь малых частиц, что не имея никакой величины, далее делимы быть не могут. Сии последние частицы, тела составляющие, называют монадами.

Было время, что распри о монадах так была сильна и обща, что во всех собраниях и на караулах об пей с великим жаром говорили. При дворе не было почти ни единой дамы, которая бы или не защищала, или не опровергала монады. Одним словом, повсюду ни о чем ином, как о монадах, не говорили.

Королевская берлинская Академия приняла участие в сих распрах, и как она ежегодно предлагает задачу и дает награждение, состоящее в медали в пятьдесят червонцев тому, кто лучше решит оную; то на 1748 год предложила вопрос о монадах. Великое множество сочинений получено о сей материи, и покойный Президент г. де Мопертюи для разбора оных назначил комиссию и управление ее поручил покойному графу де-Дона, гофмейстеру ее величества королевы. Он, будучи беспристрастным судьей, с всевозможным рачением разбирал доказательства, как в защите, так и в опровержение монад предложенные. Наконец, доказательства, коими бытие монад защищено было, найдены столь слабы и странны, что все бы наши познания ими были неиспровержены. Итак, награждения удостоено сочинение г. Юсти, который монады опровергал основательнее всех других.

Ваше величество удобно можете понять, что сим поступком Академии ужасно огорчены были защитники монад, коим начальником был славный г. Вольф, который решения свои почитал равно не ложными, как папа. Его последователи, коих число тогда было несравненно больше, не ждали пыле, громко вопияли на правосудие и пристрастие Академии и немного недоставало, что их начальник не предал философическому проклятию всю Академию» ([7], с. 110—112).

Эйлер горько жалуется на сторонников атомизма: они скорее готовы утверждать «наибольшие нелепости, нежели признаться в своем незнании» ([7], с. 232).

Здесь, на этих страницах, нами не ставится задача последовательного изложения истории борьбы идей дискретности и непрерывности. В дальнейшем хотелось бы только на некотором историческом фоне ярче подчеркнуть особенности современного атомизма.

За восемнадцать веков от Лукреция до Эйлера и за два века от Эйлера до наших дней было достаточно поводов для сражения между отрядами Демокрита и Эмпедокла. До наших дней идет непрерывная битва, из которой история сохранила много интересных эпизодов.

При более глубоком анализе выясняется, что, в сущности, «игра» была менее рискованная — в известном смысле выиграла обе стороны. Рассказать, как это случилось, — значит попросту изложить историю науки.

С точки зрения современного научного мышления, старые споры вокруг проблемы прерывности и непрерывности в их конкретной форме носят скорее литературно-поэтический характер. Говоря так, мы имеем в виду не идею атомизма саму по себе, которая как «гениальная догадка» сыграла огромную роль в развитии наших представлений о природе, а конкретную форму атомизма древних, его папиное звучание для современного уха.

Ведь для Лукреция не подлежало сомнению: «... Что, наконец, представляется нам затверделым и плотным, то состоять из начал крючковатых должно несомненно, сцепленных между собой наподобие веток свлетенных...» ([6], с. 99). «Несомненно... — с завидной уверенностью описывает Лукреций различные виды атомов, — Есть элементы еще, что ни гладкими не назовешь их, но и не скажешь про них, что они закорючены остро: В них выдаются скорей лишь углы небольшие наружу, так что скорей щекотать они чувства способны, чем ранить. Винную гущу сюда отпошу я и вкус девясила...» ([6], с. 97).

Однако современный упрек в какой-то «несерьезности» древних был бы несправедливым, вернее, антиисторичным. Слово «несомненно» в стихах Лукреция не случайная дань поэтической фразе. В рамках механистических представлений, механистического мировоззрения, которое только и могло быть научным, прогрессивным в ту эпоху, единственная возможность сцепить между собой атомы — это наделить их «механической арматурой»: «крючками».

Следует заметить, что попытка близкого прошлого ограничиться чисто электромагнитной картиной мира — это

«ненаучность» и «несерьезность» в общем того же порядка. И, в частности, известные попытки объяснить строение атомного ядра электрическими силами, действующими между протонами и электронами, в аспекте широких исторических аналогий выглядят теперь так же наивно, но, может быть, за отсутствием Лукреция XX столетия не столь поэтично. Мы не знаем, каково будет мнение наших потомков о многих наших научных представлениях в физике, строгостью которых в настоящее время мы иногда кичимся.

Существенно подчеркнуть, что атомизм всегда, как правило, находился в арсенале материалистической философии. Для философских схем субъективного идеалистического толка в вопросах естествознания часто была характерна антиатомистическая направленность. Это правда, что идеи непрерывности наряду с атомизмом играли существенную роль в развитии наших представлений о природе, но идеи непрерывности часто облакались в негативную форму чистого скепсиса.

Еще недавно Оствальд обвинял сторонников атомизма в скудоумии. Объяснять химические явления атомами так же глупо, писал знаменитый химик, как объяснять действие паровоза тем, что там спрятана лошадь. Еще недавно существование электронов для «эмпириокритически» настроенных людей, например Э. Маха, было бы не более убедительно, чем признание существования чертей и ведьм.

Дело совсем, конечно, не в том, что дискретность «материалистична», а непрерывность «идеалистична». Видимо, дело в том, что атомизм создает обычно очень конкретные образы, которым естественно придавать объективную реальность. Атомизм всегда был более свойствен действительному, оптимистическому материализму. Идеи непрерывности, связанные часто с критикой материалистического атомизма, дают большой простор для скепсиса и субъективного идеализма вообще.

Но борьба идей дискретности и непрерывности отнюдь не лежит в аспекте борьбы идеализма и материализма. Борьба идей дискретности и непрерывности в физике, очищенная от случайных моментов, смена этих представлений на различных исторических этапах — это естественное противоречие в развитии взглядов на материю, которое отражает своеобразное единство прерывного и непрерывного, осуществляемое в самой природе.

Для развития атомистических представлений характерно, что идея очередного «атома» возникает практически всегда как идея абсолютного атомизма (наконец-то найдены «настоящие» кирпичи мироздания!). Последующий ход событий показывает, что найденный атом действительно играет свою роль (атома) в некоторой узкой специфической области и в специфическом своем смысле, но его претензия на абсолютную элементарность оказывается несостоятельной, отрицается дальнейшими экспериментами.

И вот в зависимости от мировоззрения, научных тенденций времени физиками подчеркиваются, часто односторонне, либо моменты дискретного, либо непрерывного в этом, в общем, едином развивающемся процессе познания, из которого лишь искусственно можно вырвать одну из этих взаимно связанных характеристик. «Можно сказать, — пишет Ферми в своих лекциях по атомной физике, — что на каждом этапе развития науки мы называем элементарными те частицы, строения которых мы не знаем и которые рассматриваем как точечные».

Сказанное очень похоже на истину, но это лишь часть истины, бледная характеристика роли атомизма в физике; причем проблема «элементарности» берется в субъективном аспекте¹ и акцентируются моменты преходящего в идеях атомизма, моменты неизбежного отрицания атомизма в последующем развитии знания.

Но есть другая черта, другая сторона атомизма, относящаяся к пониманию самой материи. Поиски и, наконец, обнаружение очередного «атома», «элементарной частицы» и т. д. — это не погоня за призраками. Очередной «атом» в широком смысле слова — это реальное свидетельство об открытии качественного скачка в свойствах материи.

Появление разных атомистических понятий: молекулы, атома, ядра, элементарной частицы — отнюдь не случайно. Не случайно в наших уравнениях эти образования до поры до времени оказывались возможным и целесообразным рассматривать как точечные. Атомистические понятия отображают, если можно так сказать, ступени, стадии самой материи, ее качественно отличные формы.

¹ Несколько ранее Ферми пишет: «Что означает «элементарная частица»? Автор в затруднении ответить на этот вопрос. Термин «элементарная» скорее относится к уровню наших знаний» ([8], с. 9).

И молекула воды, и молекула девясила, о которых писал Лукреций, являются в полном смысле этого слова элементарными частицами, «атомами» этих веществ, свойства которых определяются свойствами этих молекул.

Атом водорода и также атомы других элементов не случайно сохранили старое название. Термин «атом» потерял свою былую претензию, но, как атом данного вещества, полон глубокого смысла, поскольку он обозначает мельчайшую частицу именно данного элемента. Таким образом, закономерен и появление данной конкретной формы атомизма и его естественное отрицание при дальнейшем развитии науки, отрицание в области другой, качественно отличной от предыдущей формы материи.

Фактическая история атомизма может вызвать в памяти длинный ряд различных форм атомизма. Здесь есть и случайности и своеобразные зигзаги развития.

Элементарные стихии древних сменились у Лукреция Кара бесконечным числом разнообразных атомов, а затем во времена алхимии уступили место нескольким «элементам»: сере, ртути... В последующее время научного естествознания число «элементов» возросло почти до ста.

В первой четверти этого столетия два элемента — электрон и протон, две, как стали говорить, «элементарные частицы» — оказались серьезными претендентами на исключительную роль универсальных атомов вещества: казалось, все вещество сводится к структурным комбинациям этих двух частиц. Эта новая форма атомизма, как и все предыдущие, возникла с само собой разумеющейся претензией на абсолютный характер. Но уже мы являемся современниками своеобразного процесса быстрого «возрастания» числа «элементарных частиц»: открыт нейтрон, позитрон, μ -мезоны обоих знаков, λ -мезоны нейтральные и заряженные, еще ранее — фотон, нейтрино; затем целое семейство так называемых гиперонов (Λ^0 -частица, Σ^+ и Σ^- -частицы), так называемые тяжелые мезоны (К-мезоны), открыт антипротон, антинейтрон, анти-К-частицы.

В настоящее время можно насчитать уже несколько десятков «элементарных частиц». Возможно, что составление списка элементарных частиц еще не закончено. И теперь трудно отделаться от смутного ощущения того, что элементарных частиц стало как-то «слишком много».

Уроки истории таковы: идея «что-то состоит из чего-то» всегда оказывалась правильной. Идея же атома в смысле

абсолютной элементарности вообще всегда оказывалась в конце концов ложной. С точки зрения исторических аналогий следовало бы ожидать на каком-то этапе нового «уменьшения» числа «элементарных» частиц, сведения их в широком смысле этого слова к каким-то новым, еще более элементарным сущностям. Будущее покажет, повторится ли этот исторический эпизод или здесь возникнет в этом смысле совершенно новая ситуация.

Прежде чем обсуждать намечающиеся тенденции в современной физике «элементарных частиц», целесообразно яснее очертить особенности современной формы атомизма — содержание понятия элементарной частицы в современной физике.

Понятие элементарной частицы в современной физике

Итак, каково же фактическое содержание понятия элементарной частицы в современной физике и в чем состоят особенности современной формы атомизма?

В нашем представлении термин «частица» вызывает по-прежнему (как и много веков назад) образ маленького шарика, песчинки. Понятие элементарной частицы, которое используется в современной теоретической физике, — это нечто совсем иное, нечто чрезвычайно своеобразное. Содержание этого понятия легко раскрывается в понятии так называемого поля. Вернее, с педагогической точки зрения легко объяснить современное содержание понятия элементарной частицы, если вначале дано понятие поля. Если дано понятие поля, то дальше следует определение: элементарная частица — атом данного поля.

Только в этом случае слово «атом» современной физики заменяется словом «квант». Данная элементарная частица — это простейший элемент данного поля, или просто «квант данного поля». Здесь действительно по праву, т. е. в соответствии с терминологическим смыслом, можно употребить и слово «атом».

Но, к сожалению, с той же педагогической точки зрения нелегко объяснить содержание понятия поля. Образно говоря, поля современной физики в известном смысле приплыли на смену древним элементарным стихиям. Если древние считали фундаментальными сущностями четыре стихии: землю, воду, воздух и огонь, — то современная физика пы-

тается раскрыть все содержание реального мира как сложное взаимодействие различных полей: электромагнитного, мезонного, пуклонного, электронного и т. д.

Если разрешить себе дальнейшую литературную аналогию, то можно даже сказать, что и современная физика пытается свести все многообразные явления к четырем стихиям:

1. Сильновзаимодействующие поля (ядерное, например, и т. д.)
2. Электромагнитное поле.
3. Слабовзаимодействующие поля (Ψ -поле и т. д.)
4. Гравитационное поле.

Если идти дальше по пути литературных аналогий и отождествить одну из них с какой-то стихией древних («сильные взаимодействия» — «земля»?), то, может быть, электромагнитному полю аналогом следует считать «стихию воды», если для слабых взаимодействий резервировать «воздушную стихию». Для «стихии огня» остается также пока особняком стоящее в современной физике гравитационное поле. Для древних достаточно назвать стихии, чтобы стало «понятно», о чем идет речь.

Понятие электромагнитного поля как новой, более фундаментальной стихии, чем стихии древних, возникло в результате длительной научной и практической деятельности многих поколений. Продолжительное время мир электромагнитных явлений пытались свести, по существу, к древним стихиям. Мир электромагнитных явлений пытались объяснить как эффекты своеобразной среды, наделенной свойствами жидких, твердых и газообразных тел. В результате упорных неудач в этом направлении было понято, что, наоборот, электромагнитные явления, электромагнитное поле лежат в основе того, что связано с природой свойств тел твердых, жидких и газообразных.

Так на смену механистической картине мира пришла его электромагнитная «модель». На смену чисто механистическому, физическому мировоззрению появилось новое, более глубокое мировоззрение, связанное с электромагнитной картиной мира. Но сама эта вновь открытая «основа» мира (электромагнитное поле), более глубоко лежащая в свойствах вещей, не воспринимается как «стихия» нашими органами чувств непосредственно. Однако в результате длительного изучения найдена подробная характеристика электромагнитного поля.

В XIX и XX столетиях на своеобразном языке математики научились сжато характеризовать свойства электромагнитного поля и различных полей вообще. К сожалению, здесь нет возможности излагать на адекватном математическом языке все своеобразное содержание современных представлений о поле. На математическом языке современной физики свойства полей отображаются свойствами функций, удовлетворяющих, как правило, линейным дифференциальным уравнениям второго порядка, точнее, так называемому волновому уравнению.

Для полей, рассматриваемых в современной физике, как правило, характерна возможность представлять каждое из них в форме наложения (суперпозиции) плоских волн. Существенно новое, что внесла здесь физика нескольких последних десятилетий, заключается в том, что образ, например, плоской волны принял реальный смысл образа элемента, атома, или, как стали говорить, кванта поля. Этот реальный смысл данного образа как кванта поля, как его атома раскрывается во взаимодействии. В результате взаимодействия состояние данного поля меняется; оно либо обогащается, либо обедняется именно на целое число квантов. Поэтому выделение в этом смысле простейших элементов поля действительно не случайно: оно вызвано, как говорят, квантовой природой поля.

Квант поля несет энергию и импульс, которые связаны определенными соотношениями с длиной волны, частотой — этими необходимыми характеристиками образа «плоской волны». Квант поля, иначе элементарная частица, содержит в своем определении и строго количественную характеристику элемента (атома) данного поля. Именно: энергия кванта данного поля численно равна универсальной постоянной Планка, помноженной на частоту, характерную для рассматриваемой плоской волны данного поля. Эта универсальная количественная характеристика кванта любого поля — одна из своеобразных черт современной формы атомизма.

Следовательно, очень общая характеристика элементарной частицы в современной физике связана с ее способностью обладать определенными энергией и импульсом.

В истории физики квант поля впервые появился как квант электромагнитного поля. В дальнейшем частица света получила свое собственное имя — фотон. Хотя у света оказались в этом смысле корпускулярные свойства, все же

известная к тому времени такая частица, как электрон, представлялась на первый взгляд больше частицей, чем квантом электромагнитного поля. Частица света — фотон, с точки зрения интуитивных понятий о частице, выглядела частицей в каком-то отношении «худшего», второго, что ли, сорта (нет покоящейся массы...).

Но с точки зрения квантовой теории поля, с той именно точки зрения, что кванту поля в качестве его самой общей характеристики присущи импульс и энергия, нет различия между фотоном и электроном: и фотон, и электрон — элементарные частицы. Электрону с данным импульсом и энергией однозначно соответствует образ плоской волны с определенной частотой и длиной волны. А совокупность (суперпозиция) этих плоских волн образует поле; в случае фотона — фотонное или электромагнитное, а в случае электронов — электронно-позитронное поле.

В нашем изложении мы шли от поля к частице как кванту поля. Но можно, как легко заключить из предыдущего, идти и обратно: именно от понятия элементарной частицы к понятию поля. С этой точки зрения, если дана частица в данном понимании этого слова, т. е. объект, несущий импульс и энергию, то его всегда можно рассматривать как квант соответствующего поля. Так может быть построено α -частичное поле, дейтонное поле. Если, например, взять молекулу воды и рассматривать ее как частицу-квант, то можно построить соответствующее «водное поле». Это была бы современная формулировка понятия водной стихии древних.

Таким образом, квант поля является действительно атомом, мельчайшим элементом данного поля, который еще сохраняет его свойства, подобно тому как молекула воды является атомом воды, наименее элементарным элементом, сохраняющим (определяющим) свойства воды.

Здесь настало время подчеркнуть, что квант поля может обладать сложной структурой, например, такой, как молекула воды, дейтон или α -частица, т. е. в этом смысле отнюдь не быть «действительно» элементарной частицей. В этом смысле у нас нет никакого критерия элементарности любой из существующих «элементарных частиц». Опять возникает несоответствие между буквальным терминологическим смыслом названия «элементарная частица» и его фактическим содержанием в современной физике.

Другими словами, на новом этапе, на новой основе вновь возникает вопрос о том, какие же поля являются элементарными, какие же «стихии» являются фундаментальными. Если бы даже в дальнейшем оказалось, что все так называемые элементарные частицы являются действительно не элементарными и сводятся к какой-то более узкой группе или к каким-то другим, более фундаментальным сущностям, — этот вопрос все-таки не имеет отношения к современному смыслу понятия элементарной частицы, к тому понятию, которое под этим несколько претенциозным названием введено в современную физику.

И еще раз целесообразно повторить, что в этом смысле у нас нет никакого критерия элементарности так называемых элементарных частиц.

Поля различаются между собой своими физическими свойствами, и физические различия полей определяют физические различия их квантов, т. е. элементарных частиц, и обратно. В современной таблице элементарных частиц перечисляются тридцать две частицы², каждая из них характеризуется своими особыми свойствами. Как эти особые свойства частиц, так и всё, характерное для всех частиц, очень сжато, но тем не менее очень содержательно выражается в современной физике на своеобразном математическом языке.

Общим требованием для всех фундаментальных полей считается в настоящее время подчинение их законам теории относительности³.

Требование инвариантности законов природы относительно преобразований Лоренца выбирает из всего многообразия возможных полей относительно узкий класс.

Различия полей на математическом языке формулируются в первую очередь как различия в так называемых трансформационных свойствах величин, характеризующих данное поле. Если некоторая функция, характеризующая данное поле и удовлетворяющая волновому уравнению, не меняет своего вида при переходе из одной движущейся системы координат в другую или, как говорят, является скаляром относительно лоренцевских преобразований,

² В настоящее время список «элементарных частиц» значительно увеличился (примечание при подготовке книги).

³ Есть ряд элементарных частиц, о которых следовало бы вести разговор особо, — здесь имеются в виду такие элементарные частицы, как фононы («квант звука») и др.

мы имеем поле с комплексом одних физических свойств. Если же соответствующая величина, характеризующая, например, электромагнитное поле (вернее, потенциал), преобразуется при переходе из одной движущейся системы в другую как четырехмерный вектор, то констатация только этого, казалось бы, бедного математического факта на самом деле в необычно сжатом виде характеризует в существенной части все богатства физических свойств данного поля. Здесь в лапидарной форме выражаются неисчислимы возможные возможности своеобразного технического использования электромагнитного поля.

Действительно, если бы вместо векторного поля (электромагнитного) мы имели в своем распоряжении, например, поле скалярное, то промышленность, техника, соответствующая нашей электромеханике, была бы исключительно бедна плч, во всяком случае, весьма своеобразна; так, соответствующие «токи» источников этого поля не могли бы создавать магнитного поля. Технические возможности использования такого поля во многом напоминали бы небогатые возможности электростатики.

Поля, ведущие себя при преобразовании координат как скалярные, псевдоскалярные, векторные, тензорные, спинорные величины, имеют своим квантом элементарные частицы со специфическими свойствами, которые, в частности, характеризуются так называемым спином (собственным механическим моментом) частицы и ее внутренней пространственной четностью⁴. Например, π -мезон оказывается квантом псевдоскалярного поля, откуда следует, что спин π -мезона равен нулю, а его внутренняя четность отрицательна (символ $-$). Фотон оказывается квантом векторного поля, спин фотона равен 1. Электрон является квантом электронного поля, его трансформационные свойства отображаются особыми математическими величинами, спинорами, характеризующими, в частности, полудельный спин частицы, и т. д. Здесь уместно в описании свойств элементарных частиц отвести почетное место непрерывному процессу обогащения их все новыми и новыми, подчас очень неожиданными свойствами.

Полвека прошло с момента появления книги В. И. Ленина «Материализм и эмпириокритицизм». Научные со-

бытия, которыми так богато оказалось это время, явились бы специально подобранными, одна другой ярче, иллюстрациями торжества ленинской идеи о неисчерпаемости свойств электрона и материи вообще.

Действительно, образ электрона за эти десятилетия усложнился с самых неожиданных сторон.

Вот краткая справка.

В двадцатых годах было установлено, что электрон обладает спином.

Хотя спин значит буквально только собственный момент количества движения, на самом деле явления спина очень сложны, и о них можно написать очень многое.

Со спином электрона оказалась связана своеобразная статистика, которой подчиняются электроны, в отличие от статистики, которой подчиняются частицы с целочисленным спином.

Так называемый принцип Паули и своеобразная статистика, о которой идет речь, открыли совершенно новую область эффектов, связанных с этими свойствами электронов.

Открытие волновой природы электронов раскрыло совершенно новый, своеобразный мир явлений. В дальнейшем (тридцатые годы) стал известен двойник электрона — антиэлектрон (позитрон) и с ним ряд поистине фантастических возможностей, о которых никогда и не мечтали физики: рождение пары электрон—позитрон от фотона. Несколько позже появилась теория β -распада, согласно которой электрон в качестве специфического неэлектромагнитного заряда взаимодействует с μ -мезонами и другими частицами. Здесь речь идет о способности электрона участвовать в слабых взаимодействиях. Эти свойства электрона по своим многообразным проявлениям, может быть, значительно богаче его электромагнитных свойств.

Важно напомнить, что в результате этих взаимодействий электрон может на короткое время самопроизвольно превращаться, например, в μ -мезон и пару нейтрино или находиться в состоянии системы, состоящей из антипротона, нейтрона и нейтрино⁵.

⁴ Этим свойством характеризуется поведение волновой функции частицы при замене координат x на $-x$.

⁵ Эта привычная для теоретика фраза носит несколько жаргонный характер, и точный смысл ее требует многих оговорок и уточнений.

В настоящее время речь идет о том, что электрону, по-видимому, придется придать еще одну специфическую характеристику — лептонный заряд. Здесь не место входить в детали многих других недавно «появившихся» свойств элементарных частиц, как изотопический спин и (неожиданное в научном лексиконе) «странность». Феерический каскад вновь и вновь открываемых свойств элементарных частиц трудно исчерпать не только в беглом обзоре, но и в обстоятельных монографических описаниях.

Возвращаясь к ленинской идее о неисчерпаемости электрона, можно резюмировать все сказанное выше такими словами: перед нами пример необычайно успешного методологического предвидения. Именно предвидения методологического, когда философ, не входя в специальные детали конкретной науки, которые являются прерогативой специалиста, находит чисто методологическое решение проблемы, лежащее в аспекте теории познания.

Итак, наши знания об объектах современной формы атомизма, элементарных частицах постепенно усложняются, обогащаясь благодаря открытию все новых и новых свойств их. Они начинают выглядеть в некотором смысле очень похожими на атомы Лукреция по богатству разнообразных, по-своему тех же «крючков», «зацепок» и другой своеобразной «арматуры», которой на наших глазах интенсивно обрастает образ элементарной частицы.

Хотелось бы обратить внимание еще на одну специфическую черту современного атомизма. Оказывается, что утверждение о том, что «что-то» состоит из «чего-то», в ряде случаев потеряло свой первоначальный непосредственный смысл, вернее, нуждается в серьезном уточнении.

Утверждение, например, что атом водорода состоит из протона и электрона, строго говоря, уже не верно: здесь допущена ошибка, логически несколько похожая на ту, которая допускалась бы во фразе, что «дом построен из сосен». В процессе строительства сосны превращаются в бревна, сосны опиливаются, с них снимаются стружки и т. д. Эта аналогия призвана образно подчеркнуть тот факт, что масса атома водорода строго уже не равна сумме масс протона и электрона, она несколько меньше: здесь при «подгонке» протона и электрона в систему атома водорода «снята стружка» с массы элементов этой конструкции, которая в виде излучения уносится в пространство. Поэтому электрон и протон в атоме водорода несколько

отличаются от тех же свободных частиц. Для того чтобы разрушить атом водорода, необходимо вернуть «стружки» (дефект масс), т. е. подействовать на атом излучением, в результате поглощения которого атом водорода расщепится на протон и электрон прежней массы.

Когда образуются ядра атомов из протонов и нейтронов, то при соответствующей «подгонке» снимаются более солидные «стружки». Масса ядра атома оказывается значительно меньше суммы масс протонов и нейтронов, образующих ядро. Частицы, входящие в состав ядра, существенно меняют свои свойства. Так, свободный нейтрон распадается на протон и электрон со временем жизни порядка 10 минут. Нейтрон в ядре, как правило, теряет эту способность, становится устойчивым. Этому, в какой-то мере случайному, обстоятельству мы обязаны тем, что существуем, что вообще существуют элементы с атомным весом, большим, чем водород.

Для того чтобы расщепить, например, ядро легкого элемента, следует вернуть потерянную массу его частицам. Это можно сделать с помощью бомбардировки ядер потоком частиц относительно большой энергии.

Обычное элементарное понятие «состоит» предполагает возможность проверки структурного состава системы с помощью воздействия, которое расщепляет ее на части, на структурные единицы, из которых она состоит. Подобная проверка сложности физических объектов, с которыми имеет дело современная физика, в частности тех же элементарных частиц, в ряде случаев потеряла свой непосредственный смысл. При сильных взаимодействиях реально возникают новые частицы, которые просто структурно не входят в состав исследуемых объектов.

Иногда высказывается мнение, что понятие «состоит» имеет смысл постольку, поскольку дефект масс при образовании системы существенно меньше масс частиц, из которых эта система образована. Собственно говоря, уже в этом определении потеряна первоначальная чистота понятия «состоит»; пример нейтрона — довольно яркая тому иллюстрация.

С другой стороны, это определение еще слишком модельно: сюда не подходит, например, интересная идея о том, что Λ -мезон состоит из нуклона и антинуклона, потому что масса Λ -мезона примерно в десять раз меньше масс частиц, ее составляющих. И с более общей точки зрения

нельзя запретить такую идею, но это бы значило, что свойства нуклонов в этой системе радикальным образом отличаются от свободных.

Термин «состоит» находит здесь свой конкретный смысл в том, что π -мезонное поле сводится к нуклонному, которое более элементарно, и что достаточно исходить из нуклонного поля как элементарной стихии, чтобы как своеобразное состояние этого поля получить поле π -мезонное. В связи с последними замечаниями можно сказать, что уже появляются тенденции к радикальному пересмотру современного атомизма.

Все сильнее и сильнее начинают проявляться тенденции рассматривать частицы Бозе (π -мезон, К-мезон, фотон), т. е. частицы с целочисленным спином, как сложные образования из частиц с полуцелым спином: π -мезон, как своеобразную комбинацию нуклона и антинуклона, К-мезон, как комбинацию гиперона и антинуклона и т. д.

Надо заметить, что механистическая концепция атомизма, предполагающая, будто части целого — это что-то более «мелкое» по своим количественным и более «бедное» по своим качественным характеристикам сравнительно с самым целым, теряет свое содержание в современной форме атомизма.

Если атом водорода действительно состоит из протона и электрона и каждая из этих частиц по массе меньше, чем масса атома водорода, то в пространственном отношении даже это утверждение не совсем точно. В то время как электромагнитное поле свободного электрона простирается далеко (строго, говоря, бесконечно), лишь относительно медленно по интенсивности падая с расстоянием, атом водорода просто электрически нейтрален. Массы нуклона и антинуклона, образующие π -мезон (если эта гипотеза правильна), примерно в шесть раз больше, чем масса π -мезона.

Пожалуй, вместо слова «состоит» в согласии с тенденциями в современном атомизме целесообразно употреблять другой термин — «образован».

Наконец, для того чтобы ярче подчеркнуть наиболее своеобразную черту современной формы атомизма, напомним словами Ньютона содержание атомистического идеала прошлых времен. Слова эти лишены обычной ньютоновской сухости и звучат временами патетически.

«Мне представляется, — писал Ньютон, — что бог с самого начала сотворил вещество в виде твердых, весомых,

непроницаемых, подвижных частиц и что этим частицам он придал такие размеры и такую форму и такие другие свойства и создал их в таких относительных количествах, как ему нужно было для той цели, для которой он их сотворил.

Эти первичные частицы абсолютно тверды: они неизмеримо более тверды, чем тела, которые из них состоят, настолько тверды, что они никогда не изнашиваются, не разбиваются вдребезги, так как нет такой силы, которая могла бы разделить на части то, что сам бог создал нераздельным и целым в первый день творения.

Именно потому, что сами частицы остаются целыми и неизменными, они могут образовать тела, обладающие той же самой природой и тем же строением во веки веков; ведь если бы частицы изнашивались или разбивались на части, то зависящая от них природа вещей изменялась бы.

Вода и земля, составленные из старых, изношенных частиц и осколков, отличались бы по строению и свойствам от воды и земли, построенных из еще целых частиц в начале творения.

Поэтому для того, чтобы природа могла быть долговечной, все изменения тел природы могут заключаться лишь в перемене расположения, в образовании новых комбинаций и в движении этих вечных частиц» ([9], с. 311). «Даже когда Солнечная система распадется, на ее развалинах возникнут другие миры, атомы, из которых она состоит, останутся целыми и неизношенными».

Последнюю фразу легко принять за продолжение той же цитаты из Ньютона, но этот абзац дописал Максвелл двести с лишним лет спустя.

Столько веков спустя Максвелл просто повторяет мнение древних о существовании в природе неделимых частиц, «атомов».

«При мысленном делении вещества, следовательно, мы должны в воображении дойти до атома, который, как буквально значит это слово, не может быть разделен пополам, — такова атомистическая картина Демокрита, Эпикура и Лукреция, я могу прибавить, и нашего лектора» (Речь, произнесенная на съезде Британской ассоциации в Бердфорде) ([10], с. 79).

И все не так в современной форме атомизма! Возможность рождения и исчезновения элементарных частиц, вернее, взаимная превращаемость элементарных частиц, —

это в отличие от прежнего (условно скажем, ньютоновского) атомизма совершенно новая и фундаментальная черта атомизма современного.

Элементарные частицы могут, как говорят физики, излучаться и поглощаться.

Фотон рождается при торможении электрического заряда в поле кулонового центра, π -мезоны рождаются при столкновении кулонов. Фотоны, падая на протон, могут образовать пару — электрон и позитрон, и т. д.

Многие из элементарных частиц самопроизвольно превращаются в другие частицы. Этот процесс носит название распада, но его, конечно, нельзя понимать как просто распад системы на ее основные части. Перед нами в полном смысле этого слова превращение одних частиц в другие, где новые частицы не были простыми структурными единицами, частями старой, а рождаются заново. Так π^0 -мезон превращается в два фотона; π^\pm -мезон превращается в μ -мезон и нейтрино, или в электрон и нейтрино; μ -мезон превращается в электрон и два нейтрино; Λ^0 -частица превращается в протон и π^- -мезон и т. д.

Эта новая черта атомизма ведет к взаимной обусловленности свойств элементарных частиц, которая в последние годы проявляется все резче и резче. Если в ньютоновском атомизме роль атома — это извечно существовать в данном виде и лишь менять свое место во Вселенной, то в современных представлениях существование данной элементарной частицы — это лишь момент бесконечных превращений в шкале больших, всеевских времен.

В ньютоновском атомизме атомы чужды друг другу и никакие свойства данного атома не определяются свойствами других атомов. Современный атомизм придерживается совершенно других воззрений. Действительно, протон и нейтрон, например, взаимодействуют друг с другом через так называемые ядерные силы. Другими словами, вокруг протона и нейтрона имеется ядерное поле сил. В настоящее время установлено, что заряженные и нейтральные π -мезоны являются квантами этого ядерного поля. С корпускулярной точки зрения, ядерное поле состоит из π -мезонов. Такое поле можно себе наглядно представить в виде «облака» π -мезонов, окружающего протоны и нейтроны. Однако это мезонное облако настолько определяет свойства протона и нейтрона, что ме-

зоны в известном смысле почти структурно входят в протон и нейтрон и потому в этом смысле содержание понятия протона становится неотделимым от содержания понятия π -мезона. Поэтому π -мезоны «ответственны» за ядерные силы, действующие между протонами и нейтронами. Массой π -мезона определяется радиус действия этих сил. Токи мезонного «облака» вокруг протона и нейтрона определяют, по-видимому, магнитные моменты этих частиц.

С другой стороны, нейтральный, например, π -мезон, обладая большой кинетической энергией, мог бы, по современным представлениям, в подходящих условиях превратиться в протон и антипротон. Эта возможность для π -мезонов превратиться в пару нуклонов должна определять вокруг π -мезонов особое поле сил, квантами которого являются нуклоны. По современным представлениям, π -мезоны через это нуклонное поле должны взаимодействовать друг с другом, т. е. нуклоны (протоны, нейтроны и их античастицы), в свою очередь, определяют ряд существенных свойств π -мезонов.

Свободный нейтрон, излучая электрон и нейтрино, превращается в протон. Следовательно, наряду с другими полями, вокруг нуклона образуется так называемое $e\nu$ -поле, квантами которого являются электроны и нейтрино. Другими словами, электронно-нейтринное поле также вносит свою долю в физические свойства протона и нейтрона.

Так как Λ^0 -частица, взаимодействуя с π -мезоном, может превращаться в протон, то протон может пребывать в состоянии системы, состоящей из π -мезона и Λ^0 -гиперона; это значит, что вокруг протона существует π -мезонное и Λ^0 -гиперонное «облако» и т. д.

Для того чтобы написать в красках всю сложную картину полей в структуре протона, отображая определенным цветом «облака» тех или иных элементарных частиц, потребовалась бы палитра художника. Ведь каждая из частиц потребовала бы для изображения своего «облака» одного какого-то неповторимого оттенка. Каждая из элементарных частиц вносит свою лепту в то, что называется протоном.

Может быть, самое удивительное в этой своеобразной ситуации то, что для подобного изображения образа каждой из элементарных частиц потребовалась бы та же самая полная палитра красок. Вокруг электрона, например, мы должны нарисовать поле световых квантов (пусть зеле-

ное...), но каждый световой квант может произвести электронно-позитронную пару (пусть желтое...), но электронное поле способно вызвать нуклонно-антинуклонно-нейтринное поле (пусть красное... и серое...), но нуклонное поле, в свою очередь, связано, как мы видели, со всеми оттенками красок... Круг замыкается. В конкретный образ одной данной элементарной частицы вносят в той или иной мере свой вклад все другие элементарные частицы. Иначе говоря, частицы, которые мы называем элементарными, вообще говоря, обладают очень своеобразной и сложной структурой.

К сожалению, однако, современная теория элементарных частиц не в состоянии дать количественную характеристику этих структур. Для количественного вклада каждого из рассматриваемых полей, например, в массу данной элементарной частицы современная теория фатальным образом дает бесконечно большое численное значение, и это не зависит от вида рассматриваемого поля.

Другими словами, в настоящее время у нас нет подлинной теории элементарных частиц, или, говоря осторожнее, на основании существующей теории мы не в состоянии вычислить массы и различные специфические заряды элементарных частиц.

Хотелось бы добавить одно очень существенное замечание к общей характеристике элементарных частиц как квантов поля. Но, к сожалению, его трудно сделать в популярном виде достаточно квалифицированным образом.

В тексте речь идет о выявлении элементов поля путем разложения его по системе плоских волн, о так называемом квантовании по плоским волнам.

Как известно, функции поля можно разлагать не только по плоским волнам, но, например, по волнам сферическим. И вообще, как говорят физики, — по любой системе фундаментальных функций. Поэтому за элементарный образ поля можно взять не только плоскую волну, а, скажем, функцию из любой полной системы фундаментальных функций.

Выделенные таким образом другие кванты поля характеризуются не импульсом и энергией, а другими точно заданными механическими характеристиками (например, моментом количества движения). Но общим для всех форм квантов является своеобразный атомизм, проявляющийся в дискретных значениях некоторых механических

переменных (момент количества движения может принимать лишь целые и полужелочисленные значения постоянной Планка и т. д.).

В результате этих замечаний можно было бы дать более общую характеристику кванта поля, чем это дано в тексте. Именно: элементарный образ поля, его квант, может быть связан с любой эквивалентной системой механических переменных, или, пользуясь точным языком, понятным более узкому кругу специалистов, с любым полным набором собственных значений системы коммутирующих операторов.

Особо следует подчеркнуть, что обсуждаемые различные «виды» квантов данного поля обладают одними и теми же характеристиками в отношении многих величин, таких, например, как масса частиц, электрический заряд, изотопический спин и т. д.

Тем не менее в тексте дана в некотором смысле исчерпывающая характеристика атомистической структуры поля; она заключается в том, что из *любого* поля *можно* выделить элемент поля, обладающий указанными квантовыми свойствами. Более того, любой квант любой другой, образно говоря, формы может быть представлен как сложная суперпозиция элементарных образов поля, связанных именно с плоскими волнами.

Правда, то же самое можно сказать и о любом другом способе выделения элементарных образов поля.

С математической точки зрения различные приемы квантования поля, различные способы выделения элементарного образа поля равноправны.

В реальных физических процессах это далеко не так.

В реальных физических условиях может выделяться именно данная форма элементарного поля, данный вид его кванта. Квант поля возникает в результате элементарного акта излучения. Поэтому та форма, в которой возникает элемент данного поля, зависит от физических свойств излучающей системы.

Квант поля может возникать как элементарный образ, связанный, например, со сферической волной, в которой реализуется ($l=1$); ($l=2$) или какое-либо другое состояние.

Квант поля исчезает в результате поглощения его каким-либо поглотителем, и в элементарном акте поглощения может поглощаться квант в другой специфической форме, на которую физически «настроена» поглощающая система.

Реально может случиться так, что излучающая система излучает поток квантов одной формы, а поглощающая система, играя роль анализатора, поглощает в элементарном акте поглощения квант другой формы, видоизменяя тем самым падающее на поглотитель излучение.

Существует много примеров подобных физических ситуаций.

Пучок света, излученный какой-либо системой в форме квантов, поляризованных по кругу, падает на пластинку, которая пропускает только свет, линейно поляризованный. Пучок света, поляризованный по кругу, можно разложить на два пучка света, линейно поляризованных в перпендикулярных друг другу направлениях.

По выходе из пластинки свет оказывается линейно поляризованным, т. е. состоящим из линейно поляризованных квантов.

Но линейно поляризованный пучок света можно представлять как суперпозицию двух пучков, противоположным образом поляризованных по кругу; это значит, что, поглотив подходящим веществом один из этих пучков, можно вернуться к пучку света, поляризованному по кругу; цикл опытов замыкается, и опыт можно повторять сначала.

Крайне интересный пример в этом отношении представляют собой так называемые θ^0 -частицы.

θ^0 -частицы обладают поразительным свойством переходить со временем в свою античастицу ($\bar{\theta}^0$).

θ^0 -частица, рожденная в элементарном акте излучения в образе кванта θ^0 -поля, оказывается затем смесью состояний θ_1^0 - и θ_2^0 -частиц. Одни из них, именно θ_1^0 , распадаясь за время 10^{-10} сек, быстро вымирают, оставляя пучок долгоживущих θ_2^0 -частиц. $\bar{\theta}_2^0$ -поле, являясь своеобразной суперпозицией θ^0 и $\bar{\theta}^0$ -полей, может быть подвергнуто влиянию вещества, поглощающего θ^0 -поле и таким образом реально преобразующего пучок θ_2^0 -частиц в пучок квантов со свойствами первичных θ^0 -частиц. Круг преобразований замыкается, и можно повторять снова операцию выделения θ_1^0 - и θ_2^0 -частиц.

Этот эксперимент недавно осуществлен, и он по-своему является одним из самых красивых экспериментов физики последних лет.

Если бы в наше время Эйлер писал какой-то современный вариант своих «Писем к немецкой принцессе», то место дискуссий о делимости заняли бы обсуждения характера будущей теории. И если бы Академия наук учредила премию, подобную той, о которой писал Эйлер, по на тему о возможном характере будущей теории, то общественное научное мнение, вероятно, с тем же успехом присудило бы ее какому-нибудь современному г. Юсти. Надо заметить, что обсуждения конкретных аспектов будущей теории, сам характер дискуссий, тенденции научного общественного мнения представляют несомненный интерес.

Важно подчеркнуть и некоторый неясно выраженный, почти подсознательный «подтекст» многих дискуссий о «будущей теории», притом не «будущей теории» элементарных частиц, а просто теории.

Имеется своего рода логическое основание для подобного упрощения фразы: создать «настоящую» теорию элементарных частиц, из которой могли бы быть выведены все массы частиц, специфические константы взаимодействия, значило бы создать исчерпывающую теорию материи. Это значило бы, что найдена «Теория Мира», что просто найдена «Теория».

Легко вспомнить, что перед нами отнюдь не оригинальная, отнюдь не новая дерзкая претензия человеческого разума, а в сущности очень слабое подражание великим историческим примерам.

Единственная основа для подобных «дерзких» суждений — это всегда в действительности узкий научный горизонт эпохи.

Так, во времена Ньютона и еще много позже было естественно полагать, что именно (как одно время говорили) в «Рациональной механике» содержится «Теория Мира». Нужен только всеобъемлющий ум («ум Лапласа»), чтобы вывести все следствия из начальных условий, согласно законам механики определить все события и их течение.

Возникшие затем «недоразумения» были исправлены теорией Максвелла, и уже в конце прошлого столетия, по

* «Вопросы философии», 1960, № 4.

свидетельству П. Миллиэна, представлялось, что все великие открытия в физике уже сделаны и что дальнейший прогресс будет состоять не в открытии качественно новых явлений, а скорее в более точном количественном измерении уже известных явлений.

Это господствующее общественное мнение формулируется учителем М. Планка — Филиппом Жолли несколько более образно, но, по сути дела, теми же словами: «Конечно, в том или ином уголке можно еще заметить или удалить пылинку, но система как целое стоит прочно, и теоретическая физика заметно приближается к той степени совершенства, каким уже столетия обладает геометрия» ([11], с. 15—16).

Утверждение, что «все великие открытия в физике уже сделаны», и дифирамбы Ф. Жолли исключительному «совершенству» современной ему теоретической физики в методологическом отношении — то же самое, что и «несомненно», звучавшее в стихах Лукреция.

И как будто парочкой шуткой истории явилось то, что именно своеобразное «несовершенство» геометрии (неоднозначность геометрий) несколько десятилетий спустя привело к созданию общей теории относительности.

Как исторический анекдот воспринимаются теперь слова «все великие физические открытия уже сделаны», произнесенные лишь за десятки лет перед такими открытиями, как специальная теория относительности и квантовая механика.

Вскоре после создания специальной и общей теории относительности наступила эра научного освоения новой теоретической системы, широта и глубина успехов которой, естественно, породили опять те же надежды на абсолютную универсальность теории. Давид Гильберт в своих «Основах физики» на новом этапе так повторяет своих предшественников: «...Мы видим, что не только наши представления о пространстве, времени и движении меняются коренным образом по теории Эйнштейна, но я убежден также, что основные уравнения ее дадут возможность проникнуть в самые сокровенные процессы, происходящие внутри атома, и, что особенно важно, станет осуществимым привести все физические постоянные к математическим константам, а это, в свою очередь, означает сделать из физики науку такого рода, как геометрия...» ([12], November 15. — Курсив мой. — М. М.).

Гильбертовское «Я убежден» — это все то же лукрециевское «несомненно»...

Природа «обманула» математика. Природа оказалась намного богаче теории Эйнштейна и фантастичнее фантазии Гильберта. Совсем не теория относительности, а новая, вначале перелативистская, квантовая механика помогла раскрыть своеобразные закономерности, господствующие внутри атомов. Немногим позже возникло стройное здание квантовой теории, которая по глубине новых идей, по богатству их, по масштабу грандиозного скачка в познании мира стоит рядом с теорией относительности¹.

Любопытно, что каждая вновь появляющаяся теория претендует на универсальную применимость. Здесь имеются в виду такие значительные этапы развития физической теории, как ньютоновская механика, максвелловская теория электромагнетизма, теория относительности Эйнштейна и, наконец, квантовая механика. Для современников господства одной из этих теорий подобная претензия всегда была убедительной. И во многих из нас живет потенциальная уверенность, что в «конце концов» такая универсальная теория должна возникнуть.

Пока эта уверенность основана, в сущности, на недоразумениях; точнее, на далеких экстраполяциях известных исторических ситуаций, которые могут рассматриваться в качестве своеобразных образцов или «примерок» для таких универсальных теорий. Ведь «чуть-чуть» — и механика Ньютона осуществила бы свою претензию на значение такой всеобъемлющей теории. То же самое можно было бы сказать о теории относительности и квантовой механике. Именно подобная «примерка» в свое время подвела Канта, который пытался доказать априорную справедливость как евклидовой геометрии, так и механики Ньютона.

Всеобъемлющая универсальная теория и абсолютный атомизм, эти в идейном отношении родственные концепции, всегда представляли и будут представлять собой маящую цель научного прогресса. В этом проявляется

¹ Через некоторое время, довольно, впрочем, короткое, когда Гильберту стала ясной ошибочность этой концепции (в связи с появлением квантовой механики), сам Гильберт вычеркнул процитированные нами строчки из собраний своих сочинений (см. [13], S. 259).

одна из черт противоречивости процесса познания. Можно полагать, что «всеобъемлющая» теория предстанет асимптотическим пределом бесконечного процесса совершенствования науки.

Но тем не менее вряд ли мы допустим ошибку, если скажем, что и ближайший обобщающий этап в развитии физики возникает, как всякая подобная обобщающая теория, с претензией на безграничное применение. Молодые «преуспевающие» теории необычайно агрессивны.

Последние замечания справедливы с одним, может быть, существенным ограничением. Длительное господство ньютоновской механики, например, и длительная претензия этой теории на безграничную применимость явились лишь результатом относительно медленного развития экспериментальной физики в связи с относительно медленным развитием в ту эпоху техники вообще. Если на более раннем этапе возникли бы открытия эффектов теории относительности и квантовой механики, то картина развития теории была бы очень пестрой. Весь процесс развития теории не делился бы в нашем сознании на законченные исторические этапы (классическая механика, релятивистская теория и т. д.), которые служат сейчас моделями для воображаемой «Абсолютной Теории Мира».

Может быть, теперь с колоссально широким фронтом физических исследований и колоссальными экспериментальными возможностями настолько убыстрился или убыстрится поток новых открытий, что в каждый данный момент теории будут покрывать лишь часть открываемого нового. И, может быть, в последующем, необычайно динамичном развитии науки не будет, как в прошлом, ясно выраженных отдельных статических моментов. Хотя современники всегда склонны преувеличивать темпы развития науки, все же современным Пифагорам жертвенного рогатого скота потребовалось бы значительно больше, чем даже во времена Ломоносова².

² «Пифагор за изобретение одного геометрического правила Зевсу привес на жертву сто волов. Но ежели бы за найденные в нынешние времена от остроумных математиков правила по суверенной его ревливости поступить, то бы едва в целом свете столько рогатого скота сыскалось. Словом, в новейшие времена науки столь возросли, что не только за тысячу, но и за сто лет жившие едва ли могли того надеяться» ([14], с. 424).

Подходя к вопросу о будущей теории более конкретно и прозаически, можно сказать, что речь идет в сущности об одной очень широкой, но конкретной задаче — о построении теории тех элементарных частиц, список которых установлен в настоящее время экспериментаторами.

В данный момент нельзя сказать, будет ли связана эта задача и первые этапы ее решения с появлением принципиально новых физических идей или очередные задачи теории элементарных частиц даже при значительном продвижении в решении их не потребуют серьезных изменений в наших современных представлениях. Нелишне напомнить, что в сущности на глазах одного поколения, на протяжении одной человеческой жизни возникшие в физике трудности дважды решались фундаментальным изменением теории (теория относительности и квантовая механика).

Старшее поколение физиков-теоретиков в известном смысле «развращено» привычкой преодолевать возникшие трудности за счет фундаментальных изменений теории, и здесь чаще можно услышать именно высказывания радикального характера.

Более молодое поколение физиков деловито и небезуспешно расширяет область применимости современной теории. И теория, действительно, часто оказывается «не так уж плоха». В целом же ситуация, конечно, куда сложнее, многостороннее и не укладывается в рамки упрощенных суждений. Здесь можно привести целый «спектр» прогнозов и самые различные тенденции научного общественного мнения.

Согласно самому крайнему мнению, число сторонников которого становится все меньше и меньше, поиски какой-то будущей теории элементарных частиц вообще излишни: современная теория и есть будущая теория, — следует только найти адекватные математические методы решения ее основных уравнений. Отнюдь нельзя сказать, что подобные точки зрения на современную теорию абсурдны. Дело в том, что системы уравнений существующей теории решаются приближенно, да и то с существенными оговорками, в детали которых здесь входить не имеет смысла.

Следует заметить, что в тех случаях, когда удается найти малый параметр и какие-то величины, с надежной точностью характеризующие наблюдаемый эффект (будь то электродинамика или даже мезодинамика), результаты

вычисления удивительным образом согласуются с экспериментальными данными. Более того, в настоящее время нет ни одного экспериментального факта, который указывал бы на несправедливость современной теории.

Две противоположные тенденции характеризуют развитие современной теории: с одной стороны, постепенно раскрывается, что современная теория обладает все большей и большей областью применимости, чем это предполагалось раньше³. С другой стороны, утверждение, что «современная теория элементарных частиц неудовлетворительна», имеет сегодня довольно широкое хождение. Недовольство современной теорией охватывает все больший и больший круг теоретиков.

Но так как нет физически измеримых эффектов, которые бы вступали в непосредственное противоречие с теорией, то это недовольство часто носит скорее характер своеобразного «брюзжания».

Последние замечания могли породить сомнения в серьезности и обоснованности развивающегося недовольства современной теорией элементарных частиц, но на самом деле ситуация значительно сложнее, и эти сомнения могли возникнуть лишь в результате того «благочестивого обмана», который в целях краткости изложения был допущен на предыдущих страницах. Во фразе «в тех случаях, когда удастся вычислить какие-либо величины» остались, например, нерасшифрованными слова «удается вычислить».

К сожалению, «удается» здесь значит, строго говоря, «не удается», ибо в ряде случаев удается получить результат только в виде бессмысленного, бесконечно большого численного значения и требуется своеобразное искусство жонглера бесконечностями, чтобы выделить из них малую

³ В первом издании книги Гайтлера «Теория излучения» можно прочесть, например, следующее: «Важно, что при больших энергиях $E > 137 m_0 c^2$ теория не согласуется с экспериментом, давая слишком большие потери на излучение». Однако в дальнейшем выяснилось, что в данном случае упрек был не по адресу: в космических лучах оказались частицы более тяжелой собственной массы, чем электроны, которые поэтому меньше теряют на излучение.

Серьезные сомнения в теории Дирака возникали, когда обнаружилось, что $2S^{1/2}$ уровень в атоме водорода смещен по сравнению с ранее вычисленным. Но дальнейшее уточнение поправок привело к блестящему совпадению с экспериментом и т. п.

конечную величину, имеющую отношение к реальному эффекту. Одно время казалось, что техника жонглирования бесконечностями достигает уровня рациональной дисциплины (так называемая перенормировочная техника), но в дальнейшем возникшие новые трудности охладили симпатии к этой беспрецедентно искусственной рецептуре обращения с математическим аппаратом теории⁴.

Но и здесь сторонников современной теории можно понять, если напомним своеобразные черты этой длительной и ставшей по-своему привычной ситуации с бесконечностями.

Проблема бесконечностей возникла вместе с современной теорией. Теоретики имели обычай с самого начала почтительно называть ее «фундаментальной», но все это носило характер какой-то официальной почтительности, которой следует придерживаться по большим теоретическим праздникам. В длительные теоретические будни эти бесконечные выражения рассматривались как досадное недоразумение, и их просто игнорировали в практических приложениях теории.

Практически эти бесконечности долгое время удивительным образом ничему не мешали. Как ни парадоксально, по это факт, что фундаментальные трудности, возникшие с самого начала создания современной теории, совсем не мешали ее удивительным успехам на протяжении более чем четверти столетия.

В дальнейшем, когда понадобилось (в частности, в электродинамике) учитывать и более высокие приближения теории, в ряде случаев стали игнорировать эти бесконечности, может быть, только более вежливым и более деликатным образом (перенормировочная техника).

⁴ В тексте допущена излишне категоричная характеристика перенормировочной процедуры. Если бы эта процедура имела решающий успех, математики нашли бы способ обосновать математическую законность подобных операций, и в этом направлении уже много сделано. Математика оказывается в общем очень «покладистой» наукой.

Но дело в том, что, во-первых, не все поля допускают процедуру перенормировки, например четырехфермионные взаимодействия, которые, возможно, играют фундаментальную роль в природе (β -распад). Во-вторых, есть известные основания полагать, что последовательное применение этой процедуры исключает взаимодействие, т. е. заряды в такой теории рассматриваются в конечном счете как равные нулю.

В этом аспекте очень естественно, что задача удаления бесконечностей из теории долгое время выглядела как идея своеобразной косметической операции, приводившей только в приличный вид математический аппарат теории. Здесь верилось (и отчасти верится), что трудности с бесконечностями будут «как-то» решены на чисто математическом пути. И, может быть, даже это решение несущественно изменит или вообще не изменит конечных результатов, даваемых современной теорией.

Но надо сказать, что в данный момент это «как-то» не имеет конкретного содержания. Нельзя указать даже на слабые тенденции, которые представляли бы интерес для обсуждения.

Психологично сторонников современной теории можно понять и как отражение своеобразной инерции длительной теоретической ситуации. Из этого инерционного состояния могло бы вывести либо явное противоречие теории с опытными данными (которого пока нет), либо яркий успех новой теоретической концепции (которая пока не предложена).

Представители другого течения в научном общественном мнении рассматривают современную теорию как крайне неудовлетворительную. С этой точки зрения современная теория не является теорией элементарных частиц, так как она не отвечает на вопрос, почему существует именно данный набор частиц с данными значениями масс и других характеристик. Современная теория рассматривается как теория взаимодействия частиц с наперед заданными свойствами.

Таким образом, глубокое недовольство современной теорией связано пока с обсуждением внутренней структуры самой теории. Здесь, с одной стороны, сильно акцентируется внутреннее несовершенство теории (бесконечности), а с другой стороны, высказывается уверенность (гипотеза?) в том, что обязательно должна существовать теория, которая давала бы спектр масс частиц, трансформационные свойства соответствующих полей и значения различных констант взаимодействий.

Как ни увлекательны перспективы подобной теории, но стимулирующие моменты этой программы лежат все-таки в основном пока в сфере логической⁵.

⁵ В истории физики известны случаи, когда новая теория появлялась не в результате конфликта старой теории с экспери-

В ней нет той действенной необходимости решения проблемы, которая создается в ситуациях, где палицо кричащее расхождению между теорией и экспериментом в поведении предсказуемого эффекта.

Но здесь же уместно подчеркнуть, что с точки зрения общей программы будущей теории элементарных частиц следует ожидать на каком-то этапе и явных противоречий между существующей теорией и экспериментом, т. е. должны существовать пределы применимости современной теории. В этом можно видеть эвристическое значение данных концепций. Есть известные основания полагать, что современный эксперимент еще не вошел в эту новую критическую область.

Фундаментальным для ряда концепций оказывается предположение, что будущая теория должна содержать некоторую характерную константу размерности длины (l -константа). В различных теоретических схемах эта гипотетическая длина возникает своим, своеобразным образом, но ее грубый наглядный смысл пока всегда связан с размерами элементарных частиц. Эту константу можно поставить в ряд с другими мировыми константами, определенными в свое время целые этапы в развитии теорий, такими, как c — скорость света (теория относительности), постоянная Планка \hbar (квантовая теория). Константа l символизирует будущую теорию, которая при $l=0$ должна переходить в современную теорию, как квантовая теория переходит в классическую при $\hbar \rightarrow 0$, или теория относительности переходит в ньютоновскую теорию при $c \rightarrow \infty$.

С этой точки зрения отклонения от современной теории возникнут в эффектах столкновений частиц тогда, когда параметр столкновения окажется сравнимым с размерами этой критической длины.

Как известно, существует ряд длин, которые можно построить из мировых констант:

ментом. Достаточно указать, например, на историю возникновения общей теории относительности.

Создание общей теории относительности не было вызвано кричащим расхождением старой теории с экспериментом. Она возникла в результате осмысления и упорядочения уже известных экспериментальных данных. В этом плане все попытки упорядочить системы элементарных частиц совершенно законны и в принципе могли бы быть успешными. Можно лишь констатировать, что этого пока не случилось.

$$\frac{\hbar}{m_e c} \sim 10^{-11} \text{ см}; \frac{e^2}{m_e c^2} \sim 2,8 \cdot 10^{-13} \text{ см}; \frac{\hbar}{m_{\pi} c} \sim 1,41 \cdot 10^{-13} \text{ см};$$

$$\frac{\hbar}{m_{\nu} c} \sim 2 \cdot 10^{-14} \text{ см} \sqrt{\frac{G_{\beta}}{\hbar c}} \sim 6 \cdot 10^{-17} \text{ см}; \sqrt{\frac{\hbar \kappa}{e^2}} \sim 10^{-32} \text{ см};$$

G_{β} — константа слабых, а κ — константа гравитационных взаимодействий.

С каждой из этих длин были связаны свои научные чаяния: одна из них могла бы оказаться той критической длиной, которой ограничивалась бы применимость современной теории. Конечно, критическая длина в будущей теории может численно не совпадать ни с одной из этих длин. Приведенные длины являются в сущности своего рода масштабами, с которыми имеют дело современные теория и эксперимент.

Комбинация констант, известная под названием «классического радиуса» электрона, давно дискредитирована теоретически (на основании теории Дирака) как возможная критическая длина. Опытами по рассеянию электронов на протонах этот рубеж пройден экспериментально (опять-таки без каких-либо указаний на отклонение от существующей теории).

Этими же опытами пройден без сюрпризов и следующий рубеж длин ($\hbar/m_{\pi} c = 1,4 \cdot 10^{-13}$ см). Особый интерес с обсуждаемой точки зрения представляет собой нуклонная длина ($\hbar/m_{\pi} c = 2 \cdot 10^{-14}$ см). Пожалуй, в данный⁶ момент именно эту длину следует считать самым серьезным претендентом на роль фундаментального параметра будущей теории.

Надо сказать, что если в будущем окажется, что в природе действительно имеется универсальная длина, ограничивающая взаимодействие полей, то соответствующая теория будет радикально отлична от существующей. В этом утверждении имеется в виду только то обстоятельство, что в рамках идей обычной теории вряд ли можно ограничиться одной длиной для обрезания всех расходящихся интегралов. Если нуклонная или близкая к ней длина может дать разумные оценки соответствующих величин для сильных взаимодействий, то все известные взаимодействия электрона, например, с другими полями при обрезании

на длине порядка нуклонных длин способны дать лишь ничтожно малый вклад в массу электрона.

Рубеж обрывающихся длин, представляющих интерес для получения экспериментального значения электронной массы, лежит в области длин, характерных для слабого взаимодействия: $l \sim 6 \cdot 10^{-17}$ см (взаимодействие вида $\mu \rightarrow e + \nu + \bar{\nu}$).

С этой точки зрения особый интерес представляет как проверка электродинамики (например, рассеяние электрона на электроне) при параметрах удара порядка нуклонных длин, так и поведение слабых лептонных взаимодействий ($\mu\nu$) ($e\nu$) в области своих характерных длин.

В настоящее время⁷ эксперимент только начинает проходить рубеж нуклонных длин в электродинамике. Понятно, с каким нетерпением научная общественность ожидает результатов этих исследований. Здесь уместно подчеркнуть, что удивительное и многостороннее согласие результатов теоретических расчетов с экспериментальными данными в свете последних замечаний теряет свое гипнотизирующее действие.

Это согласие оказывается просто тривиальным, ибо более внимательное рассмотрение показывает, что все эффекты, о которых идет речь, пока не затрагивают областей локализации (параметров удара), меньших, чем нуклонные длины. Более того, оказывается, очень трудно вообще организовать эксперимент, который мог бы доставить надежную информацию об этой области как ареале специфических эффектов, по поведению которых можно было бы судить о возможных пределах применимости современной теории. Трудности заключаются в том, что исследования эффектов с такими малыми параметрами столкновения (10^{-14} см и менее в системе центра инерции) требуют новой техники, в частности новой техники ускорителей.

Только в последнее время такая адекватная техника в принципе разработана — это встречные пучки ускоренных частиц и сильноточные боватроны⁸. Такие ускорительные системы строятся, и в ближайшие два-три года будет дан экспериментальный ответ на вопрос о применимости или

⁷ 1960 г.

⁸ Ускорители, дающие большие токи частиц с энергией десятков миллиардов электрон-вольт.

⁶ 1960 г. См. с. 116 «Заключение», написанное 10 лет спустя.

нарушении современной электродинамики, например, при параметрах столкновения двух электронов порядка нуклонных длин⁹.

При дальнейшем увеличении на порядок энергии встречных электронных пучков (до ~ 100 Бэв в системе центра инерции) и порядка на два их интенсивностей можно надеяться получить информацию и на β -распадной длине ($l \sim 6 \cdot 10^{-17}$ ст) в слабых лептон-лептонных взаимодействиях. То же самое можно сказать о возможностях бэватронов для ускорителей протонов, но с интенсивностью потока частиц порядка $> 10^{10}$ частиц в сек.

Таким образом, лишь отсутствием необходимых экспериментальных данных объясняются в настоящее время многие неясности в дальнейших путях развития теории. Во всяком случае, как только станут известными те или иные результаты экспериментов в области нуклонных и затем β -распадных длин, работы по строению теории элементарных частиц интенсифицируются самым радикальным образом, или, по крайней мере, следует ожидать, что вся ситуация существенно прояснится.

Возвращаясь к таблице элементарных частиц, нужно сказать, что, имея перед глазами ту богатую оттенками палитру красок, с помощью которой образно передается сложное взаимодействие всех элементарных частиц, трудно отделаться от мысли, что мы близки к следующему этапу в развитии атомизма.

Действительно, когда образ элементарной частицы начинает представляться в столь сложном виде и когда каждая из «элементарных» частиц начинает представляться сложной композицией всех элементарных частиц, естественно возникает сомнение в целесообразности выбора в качестве элементарных образов, связанных с фундаментальными частицами, перечисляемыми в таблицах.

Если действительно все частицы необходимы для построения образа каждой из них, то естественно искать какой-то другой «материал», более элементарный в том смысле, что он явился бы общим для всего списка элементарных частиц.

Имеются тенденции видеть такую фундаментальную материю в некотором первичном фермионном поле. Пред-

ложен даже математический аппарат, адекватный этим идеям. Он пока не имеет еще совершенного вида последовательной теории, еще не ясны многие свойства возможного фундаментального поля: является ли это фундаментальное поле совершенно новой вещью для физиков, т. е. не похожим ни на одно из известных, или квантами этого поля являются, например, барионы, как это было предложено в одном из вариантов теории.

Согласно этой теории, в основе основ строения материи лежит некоторое фундаментальное Ψ -поле. Все известные поля (и, следовательно, частицы) являются различными состояниями этого фундаментального поля. Так появляется новая стихия, и опять-таки с претензией на абсолютную элементарность. Таким образом, дальнейшая судьба теории тесно связана с дальнейшей судьбой современной формы атомизма.

Если сравнивать «программу-максимум» этой нелинейной теории с «программой-максимум» современных линейных вариантов, то программа нелинейной теории выглядит несравненно привлекательнее во многих отношениях. Структура современной линейной теории такова, что она, с одной стороны, содержит наблюдаемые массы частиц как константы, с другой стороны, в ее уравнениях содержится «член взаимодействия», из которого выделяется выражение той же природы, что и исходная масса частиц. Численное значение этой добавочной массы неизменно оказывается равным бесконечности, независимо от природы рассматриваемой частицы. Казалось бы, эти бесконечные добавки к массам элементарных частиц следовало рассматривать как какое-то (может быть, по форме очень неуклюжее и неудачное) указание на возможное «полевое» происхождение собственных масс самих частиц¹⁰.

¹⁰ Видимо, в результате именно этой особенности аппарата современной теории поля утвердилось мнение, что массы элементарных частиц должны быть полевого происхождения.

Строго говоря, у нас нет серьезных аргументов в пользу такой концепции, кроме соображений, навеянных появлением в аппарате теории сомнительных выражений, воплощающих ее трудности. Более того, эта точка зрения (имеется в виду «линейная» концепция) в настоящий момент встречает серьезное затруднение при объяснении большого различия в массах μ -мезона и электрона, μ -мезон и электрон имеют существенно различные массы (отличающиеся одна от другой в двести раз) при тождественных взаимодействиях с другими полями.

⁹ В установке линейного ускорителя Панофского (Станфорд) предлагается проверка электродинамики до длин $3 \cdot 10^{-15}$ см.

К сожалению, математический аппарат линейных уравнений вообще не позволяет приписывать массе частиц целлюком полевое происхождение. Действительно, даже если соответствующие бесконечные выражения полевых масс частиц посредством какой-то процедуры уласться в будущем сделать конечными, то возникнут лишь полевые добавки к исходным (так называемым «затравочным») массам частиц. И, таким образом, происхождение исходных затравочных масс следует искать все-таки за пределами этой теории.

Все эти соображения указывают на какие-то принципиально новые черты будущей теории элементарных частиц. И с этой точки зрения в нелинейном уравнении фундаментального Ψ -поля впервые появляется если не сама теория, то, во всяком случае, идея последовательной теории элементарных частиц: все поля и константы взаимодействий всех полей обязаны своим происхождением одному фундаментальному полю, одной фундаментальной константе длины, содержащейся в этом фундаментальном уравнении. Как и в эпоху Лукреция, новая форма атомизма возникает с тем же характерным для атомизма оптимизмом, который пока намного опережает возможности строгих доказательств. Но в этом можно видеть и его эвристическую ценность.

Со временем исчезли механические детали конкретных представлений о бесконечно разнообразных по форме атомах Лукреция, но осталось верно угаданное бесконечное разнообразие молекулярных форм — основа современной химии.

Во что выльются новые атомистические идеи, покажет, видимо, ближайшее будущее. В «программе-максимум» данного варианта нелинейного Ψ -поля имеются в известной мере обоснованные надежды на то, что математическим аппаратом этой теории заодно преодолеваются и трудности с бесконечностями. К сожалению, в настоящее время неясно, насколько эти надежды оправдаются в последовательном квантованном фундаментальном Ψ -поле.

Если напомнить и ситуацию с массой электрона, запреты при распадах μ -мезона, то так называемые легкие частицы (μ -мезон, электрон) представляются в настоящий момент по своим свойствам наиболее загадочными частицами и, надо сказать, более странными, чем так называемые «странные» частицы (т. е. гипероны и K -мезоны).

Не исключено, что для решения трудностей с расходимостями потребуются дальнейшая существенная модификация теории¹¹.

Но из анализа многочисленных попыток длительной и не очень удачной «борьбы с бесконечностями» следует, что если нелинейность здесь существенно не поможет, то решение этой проблемы вряд ли будет тривиальным. Формально бесконечности, возникающие в современной теории, связаны с тем, что соответствующие интегралы для собственной массы элементарных частиц (и многих других величин) берутся по всему пространству (от нуля до бесконечности). И именно области интегрирования вблизи нуля дают бесконечно большой вклад в значение интеграла. Иначе говоря, элементарные частицы в современной теории рассматриваются как точечные, и именно это обстоятельство ведет к трудностям с бесконечностями. Казалось бы, очень естественна мысль ввести размеры элементарных частиц. Формально это значило бы, что в соответствующих интегралах выбрасывается опасная область интегрирования вблизи нуля. Однако все попытки ввести «фундаментальную длину» (размеры частиц) пока не увенчались успехом. Они фатально приходят в противоречие с теорией относительности, в противоречие с конечной скоростью распространения сигнала.

Можно думать, что эти попытки были слишком примитивны, слишком грубы и «классичны». Есть некоторые основания полагать, что в настоящее время возникает необходимость существенным образом изменить наши пространственно-временные представления в малых областях пространства. Дело в том, что мы подходим к явлениям ультрамикромира с точки зрения пространственно-временных представлений, которые сложились в нашей макроскопической практике.

Однажды мы уже столкнулись с необходимостью изменить наши привычные пространственно-временные представления, когда возникла необходимость перейти в область очень больших длин. Для космических расстояний оказалась неприменимой евклидова геометрия.

Так как трудности современной теории возникают на малых расстояниях, то очень естественна мысль, что они

¹¹ В настоящее время идея Ψ -поля потеряла свою популярность, и развитие этого направления практически приостановилось (примечания при подготовке книги).

появляются именно в результате неприменимости наших обычных пространственно-временных представлений для областей столь малых протяженностей.

Современные пространственные представления возникли в результате идеализации макроскопических тел как бесконечно твердых масштабов и игнорирования их атомистического строения. Неужели столь грубая идеализация окажется пригодной в ультрамикробиообластях? Во всяком случае, это было бы просто поразительной удачей, если бы пространственно-временные представления, возникшие в результате идеализации грубого макроскопического опыта, оказались действительно применимыми в каких угодно малых областях. Кажется мало вероятным, чтобы физикам-теоретикам так удивительно повезло.

Но одно дело понимать принципиальную возможность изменения пространственно-временных представлений в малых областях, и совсем другое — предложить конкретный вариант подобных теорий.

В настоящее время предприняты лишь отдельные попытки в этом направлении, но эти попытки, естественно, умножатся, когда соответствующие эксперименты дадут первую информацию об особенностях физики эффектов с малыми параметрами столкновений. Следует заметить, что в высказываниях о возможном характере будущей теории элементарных частиц иногда подчеркивают еще более абстрактный и своеобразный (как физики иногда говорят, «сумасшедший») характер будущей теории.

Действительно, переход от ньютоновской механики к теории относительности был связан с такой ломкой привычных представлений, что так называемый здравый смысл долго не мог примириться с возможностью новых неожиданных ситуаций. Теперь стало привычным фактом, что время, например, течет в движущейся системе координат медленнее. Теперь этот эффект (в частности, эффект замедления распада быстро движущихся частиц) используется повседневно в нашей экспериментальной технике на ускорителях и в космических лучах. Но с каким трудом общественно-научное мнение мирилось с необходимостью новых представлений, связанных с теорией относительности!

Еще более «сумасшедшие» представления лежат в основе квантовой теории. И вообще дальнейшее все более глубокое проникновение науки в микромир, естественно,

связано со все большим и большим отходом от наглядных привычных представлений. И накануне новой, еще более общей и глубокой теории материи новизна ожидания каких-то дальнейших сюрпризов.

Физики приучены к тому, что следующий этап в развитии теорий будет по форме своей казаться еще более неожиданным и «сумасшедшим», чем предыдущие.

В статье «Физические открытия» Дайсон так описывает атмосферу обсуждения одного варианта теории элементарных частиц:

«Несколько месяцев тому назад Вернер Гейзенберг и Вольфганг Паули полагали, что ими сделан существенный шаг в направлении новой теории элементарных частиц. Будучи в Нью-Йорке, Паули сделал доклад на эту тему в широкой аудитории. Паули говорил в течение часа, а затем возникла общая дискуссия с острой критикой особенно со стороны физиков молодого поколения. Присутствовавший в аудитории Нильс Бор так суммировал результаты дискуссии. «Мы не согласны, — сказал он, — что Ваша теория сумасшедшая (crazy). Вопрос, который нас разделяет, заключается в том, достаточно ли она сумасшедшая, чтобы иметь вероятность быть правильной. Мое ощущение, что теория недостаточно „сумасшедшая“» ([15], с. 96).

Следует в заключение еще раз подчеркнуть, что колоссальная лавина новых, часто очень интересных экспериментальных данных пока не захватывает области физических эффектов, которые в какой-либо мере делали возможной вероятную оценку различных теоретических тенденций или прогнозов относительно будущей теории элементарных частиц.

Экспериментальная физика только что нацупала адекватные возможности для изучения малых параметров столкновения частиц (встречные пучки, сильноточные бэватроны), которым, видимо, суждено сыграть решающую роль фундаментальных экспериментов будущей теории.

В широком историческом плане трудности, возникшие в современной теории элементарных частиц, являются, конечно, трудностями роста.

В аспекте лептисского учения о неисчерпаемости свойств элементарных частиц и общем постулативном движении познания от относительной к абсолютной истине естест-

венно и в дальнейшем ожидать возникновения новых принципиальных физических задач и успешного решения их.

Все это позволяет нам оптимистически рассматривать будущее теории элементарных частиц.

* * *

Следующие страницы книги, посвященные факторам в слабых и электромагнитных взаимодействиях, требуют вводных слов.

Помещение в этой книге доклада, относящегося, казалось бы, к важному, по частному вопросу теории элементарных частиц, связано с тем, что подтекстом этого доклада явились ранее высказанные соображения, относящиеся непосредственно к фундаментальной проблеме природы элементарных частиц — именно к проблеме расходимостей.

Из книги «Нейтрино» цитирую следующие строки: «Хотелось бы сделать более ясным положение, что популярное утверждение об обрывающей роли сильных взаимодействий в упругих нуклон-нейтринных процессах имеет тенденцию как-то универсализироваться (распространиться, например, на неупругие процессы) без больших на то теоретических и экспериментальных оснований». И несколько ниже:

«Если бы эти факторы могли *всегда* играть роль факторов, подавляющих большие передачи импульсов, в частности большие импульсы и виртуальных состояний, то это значило бы, что в электромагнитных и слабых полях отсутствовали бы и известные трудности с расходимостями.

Вывод фундаментальной важности, если бы он был справедлив» ([16], с. 20).

Здесь, по-видимому, ощущается необходимость в дальнейших пояснениях. Когда мы в современной теории элементарных частиц говорим о так называемых расходимостях, мы имеем в виду ту фундаментальную трудность теории, которая не дает нам возможность получить из теории основные характеристики элементарных частиц. Речь идет в основном о значениях их масс и зарядов. При попытках вычислить массу, например, электрона, или ка-

кой-либо другой элементарной частицы, мы получаем для всех частиц одно и то же бессмысленное значение. Именно для масс всех частиц теория «выдает» бесконечно большие величины (как говорят теоретики «расходимости»), а не те различные значения масс разнообразных частиц, которые наблюдаются в реальных экспериментах. Эта фундаментальная «болезнь» современной теории элементарных частиц пока не преодолена. Симптомы этой болезни замечены еще в классической физике около ста лет тому назад (масса классического электрона $m = \frac{e^2}{rc^2} \xrightarrow{\text{при } r \rightarrow 0} \infty$).

Квантовая теория лишь усложнила ситуацию. Бесконечные значения многих величин, характеризующие элементарные частицы и их взаимодействие, возникают во многих (строго говоря, почти во всех) конкретных вычислениях, относящихся к наблюдаемым явлениям. Речь идет, таким образом, о серьезной, может быть, основной «болезни» современной теории материи. «Выздоровление» от этой болезни значило бы создание действительной теории элементарных частиц — теории материи. Пока для некоторого класса частиц (или полей) рекомендуется «простое лечение» — вычеркивать из теории эти «болезненные» проявления и заменять, как говорят, «руками» бесконечные (расходящиеся) значения величинами (например, массы и заряда частиц), взятыми из опыта. Эта операция в некотором смысле носит характер «заклинания».

В ряде случаев «заклинание» помогает для описания многих эффектов в области взаимодействий элементарных частиц. Можно полагать, что такое обстоятельство имеет место в тех явлениях, где «внутренняя» структура элементарных частиц, вернее, природа данной частицы, вследствие которой она обладает данными характерными для нее свойствами, еще не существенны. Другими словами, здесь появление «возмездия» «рукотворному» обращению с элементарными частицами следует ожидать лишь при очень больших энергиях сталкивающихся частиц. Подобные энергии пока экспериментально не достигнуты.

К обсуждению данной трудности теории в различных ее аспектах в тексте книги мы неоднократно возвращаемся, и проблема, обсуждаемая на этих страницах (проблема так называемых факторов) заставляет нас вновь вспомнить о трудностях с расходимостями.

Во времена, когда писалась автором монография «Нейтрино» (1963 г.) и читался доклад (1967 г.), помещенный ниже на этих страницах, конечно, от случая к случаю вспоминалась фундаментальная трудность теории; конечно, всегда было ясно понимание, что эта трудность обязана тому обстоятельству, что все частицы в современной теории рассматриваются как точечные. Но в обширной практической деятельности, экспериментальной деятельности, в исследовании многочисленных явлений в области взаимодействий элементарных частиц возникло свое, можно сказать, «прагматическое» представление об элементарных частицах — как частицах протяженных.

О протяженности нуклонов свидетельствовали многочисленные эксперименты упругого рассеяния электронов и мюонов на этих объектах. Они рассеивались таким образом, как если бы нуклоны и другие адроны имели бы размеры, протяженную структуру. Эта протяженность частиц характеризуется в теории наличием формфакторов. Физики в результате многочисленных экспериментов упругого рассеяния частиц так привыкли к мысли о реальной протяженности (не точечности) рассматриваемых объектов, что не критически, без дальнейших экспериментальных данных универсализовали эту протяженность элементарных частиц на все возможные случаи взаимодействия. В частности на огромный класс так называемых неупругих взаимодействий, т. е. взаимодействий, в процессе которых наряду с рассеянной частицей может возникнуть как угодно большое число сопровождающих ее частиц, если, конечно, энергия падающей частицы допускает такое рождение. Более того, появление такого рода формфакторов следовало для данного круга процессов — упругих столкновений — и из теоретических расчетов.

Но если бы частицы имели в современной теории характер действительно протяженных частиц, как это следует для упругих столкновений, то не было бы «болезни века» в теории элементарных частиц. Исходя из этих общих соображений, а также учитывая отсутствие в то время экспериментов по неупругому рассеянию лептонов (электронов, мюонов, нейтрино) на нуклонах, исходя далее из возможного увеличения сечений за счет появления новых каналов (рождения новых частиц), автором высказывалось несогласие с существовавшей тогда и практически общепринятой точкой зрения на неупругие про-

цессы. Тогда же была сделана попытка сформулировать теорему о характере полных (упругих и неупругих) взаимодействий частиц при предельно больших энергиях, именно путем рассмотрения частиц как точечных — в соответствии с современной теорией на этот счет. Была сделана и попытка физической интерпретации этой теоремы о полных сечениях эффектов, в то время, пожалуй, единственно возможной: приближение (увеличение) с ростом энергии полных сечений к сечению взаимодействия точечных частиц¹² в результате появления многих новых каналов реакции — рождения многих сопутствующих частиц. Высказывая эти по тому времени звучали еретически. Сколько-нибудь количественных доказательств этой теоремы не было дано. Однако для выяснения возможности существования такой теоремы предлагалось обратиться с соответствующим вопросом к самой природе, т. е. предлагалась постановка ряда существенных экспериментов по неупругому взаимодействию частиц. Часть из этих экспериментов была впоследствии выполнена. Результаты дали такие значения сечений, которые, как и ожидалось, характерны для взаимодействия точечных частиц; вернее, предполагавшаяся ранее роль формфакторов, представление о которых возникло на основе экспериментов упругого рассеяния лептонов на нуклонах, не подтвердилась, что оправдывало предсказания.

В работе Н. Н. Боголюбова, В. С. Владимирова, А. Н. Тавхелидзе (см. [17]) предложенная теорема доказана при очень общих предположениях, в рамках электродинамики. Следует подчеркнуть, однако, что современная физическая интерпретация теоремы неоднозначна: она главным образом связывается с наличием структур адронов, состоящих опять «нока» из точечных кварков. Короткая, если так можно сказать, «кинолента» обсуждаемых событий недавнего прошлого поучительна и в чисто методологическом отношении. Она хорошо иллюстрирует, как появляются в теории «предрассудки» и с каким трудом они преодолеваются.

¹² Здесь следует оговорить, что имеется в виду относительная точность, вернее, отсутствие именно тех размеров протонов и нейтронов, которые следуют из опытов по упругому рассеянию электронов на адронах.

Предрассудки, о которых идет речь, настолько овладели умами физиков, что, когда экспериментаторами они были опровергнуты в опытах на линейном ускорителе в Стэнфорде, В. Пановский и Г. Кэндал выразили свое удивление в такой категорической форме: «Оказалось, что электроны сверхвысоких энергий рассеиваются на протонах и нейтронах так, как шикто не предполагал» ([18], р. 60).

Но появление подобных предрассудков исторически закономерно. Идеи и представления, которые хорошо подтверждаются в какой-то ограниченной области, обладают, как мы уже имели случай сказать, большой агрессивностью. Достаточно вспомнить еще раз претензию на универсальность механистической картины природы и далее — представления о чисто электромагнитном строении материи. Хотя пример с формфактором адронов не представляется столь значительным в истории физики, какими являлись претензии мировоззренческого характера, все же описываемая ситуация характеризовала существенный интервал в истории физики элементарных частиц. И преодоление «предрассудка» было существенной вехой в развитии представлений об элементарных частицах и оно еще чревато, по-видимому, очень существенными последствиями в нашем более углубленном понимании структуры адронов.

ФОРМФАКТОРЫ И ПОЛНЫЕ СЕЧЕНИЯ СЛАБЫХ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ *

В моем докладе я бы хотел коснуться возможного влияния формфакторов, возникающих от сильных взаимодействий, на полные сечения слабых и электромагнитных процессов типа

$$\nu_{\mu} + n \rightarrow P + \mu^{-} + \dots\dots\dots$$

$$e^{-} + e^{+} \rightarrow P + \bar{P} + \dots\dots\dots$$

$$\gamma + P \rightarrow P + \Omega^{-} + \Omega^{+} + \dots$$

$$e + P \rightarrow e' + P' + \dots\dots\dots$$

$$\nu_{\mu} + z \rightarrow z' + \mu^{-} + \mu^{+} + \dots\dots\dots$$

Я хотел бы воспользоваться случаем сделать общие замечания (пока, однако, еще не обоснованные достаточно теоретически) относительно полных сечений реакций, вызываемых слабыми и электромагнитными взаимодействиями. Как известно, при высоких энергиях взаимодействующих частиц формфактор, обязанный сильным взаимодействиям, ослабляет энергетическую зависимость упругих и квазиупругих процессов по сравнению с сечениями, которые вычисляются с пренебрежением формфакторов сильных взаимодействий, т. е. по сравнению с сечениями для «точечных» частиц. Но в то же время сильные взаимодействия, порождающие соответствующие формфакторы при очень больших энергиях, порождают и огромное число каналов разных реакций. Сильные взаимодействия стремятся в полных сечениях как бы компенсировать то уменьшение сечения, которое сильные взаимодействия оказывают в случае упругих взаимодействий.

Возникает вопрос, до какой степени эти полные сечения по своей величине и энергетической зависимости могут приблизиться к сечениям, вычисляемым для точечных частиц. Мне кажется, что должны существовать такие общие теоремы, и я хотел бы сформулировать рабочую гипотезу полунитивного характера относительно таких теорем.

* Доклад прочитан на семинаре CERN — JINR по перспективам физики высоких энергий в Риге (июнь 1967 г.). Англ. препринт E-2-4370, Дубна.

Обозначим соответствующие сечения слабых и электромагнитных взаимодействий точечных частиц через σ_0 .

Здесь мы имеем в виду сечения типа

$$\begin{aligned} \nu_\mu + n &\rightarrow P + \mu^-; & P + \bar{P} &\rightarrow e^+ + e^-, \\ e + P &\rightarrow P' + e'; & \gamma + P &\rightarrow P' + W^+ + W^-, \\ \gamma + P &\rightarrow P' + q + \bar{q}. \end{aligned}$$

Полные же сечения для данных начальных состояний, где принято во внимание существование формфакторов и возможность возникновения в неупругих процессах различного рода адронов, будем обозначать через

$$\sigma_{tot}^{form}.$$

Теперь гипотеза, которую я хотел бы сформулировать, представляется соотношением

$$\sigma_{tot}^{form} \text{ при } E_0 \rightarrow \infty \geq \sigma_0. \quad (1)$$

Может быть, подобной теоремы не существует совсем и это интуитивное утверждение носит чисто субъективный характер. Следует, однако, сказать, что подобные соображения были выдвинуты мной еще несколько лет тому назад ([16], с. 20) и после этого появились как некоторые экспериментальные факты ([16], с. 81), так и теоретические аргументы ([19], р. 987), в известном смысле способные поддержать идею существования подобной теоремы.

Известно, что сечение, вычисленное для процессов

$$\nu_\mu + n \rightarrow P + \mu^-, \quad (2)$$

линейно растет в лабораторной системе.

Согласно данным CERNa, упругое сечение (2) становится постоянным при $E_\nu^0 \sim 1 \text{ GeV}$. Но из данных же CERNa следует, что полное сечение процессов

$$\nu_\mu + n \rightarrow P + \mu^- + \dots \quad (3)$$

растет с энергией E_ν^0 пока линейно:

$$\sigma_{tot}^{form} \text{ при } E_\nu^0 > 1 \text{ GeV} \geq \sigma_0. \quad (4)$$

Подземные эксперименты с нейтрино высоких энергий совместимы с линейным ростом полных сечений до энергий 10^{11} ev .

В этом смысле интересные результаты получены в теоретической работе J. D. Bjorken'a [19] относительно полных сечений в аннигиляции электронно-позитронных пар в адроны при высоких энергиях.

Совсем тривиальный пример может быть указан для случая, когда σ_{tot}^{form} заведомо больше σ_0 .

В электронно-нейтронном рассеянии возникает прямое относительно сильное взаимодействие, если возможность сильных взаимодействий учитывается.

Это процесс типа

$$e + n \rightarrow P + \pi^- + e', \quad (5)$$

который обязан сильным взаимодействиям и дает свой вклад в полное сечение.

Здесь

$$\sigma_{tot}^{form} > \sigma_0.$$

Некоторую примитивную модель формфактора можно усмотреть в электронном облаке атома водорода. Известно, что если рассмотреть взаимодействие связанного электрона с адронами (т. е. электронное облако) и вычислить собственную энергию электрона, используя только функции связанных состояний, то получается конечное (не расходящееся) значение ([20], с. 333).

Если же в промежуточные состояния включить состояния электронов непрерывного спектра (т. е. все «неупругие» процессы привить во внимание), то получается снова та же самая расходимость, что и для точечного электрона.

В настоящее время мы пытаемся найти более общие теоретические аргументы относительно изложенной выше точки зрения на неупругие процессы.

Пока речь идет в сущности о рабочей гипотезе. С излагаемой точки зрения, большой интерес представляют реакции с частицами, обладающими большими собственными силами, когда возникает более высокая энергетическая зависимость во взаимодействии точечных частиц. Если, например, Ω^- действительно имеет спин $3/2$, тогда на точечном кулоновом центре заряда (как показал А. Комар [21], с. 56) сечение

$$\gamma + Z \rightarrow Z' + \Omega^- + \Omega^+$$

имеет вид:

$$\sigma_0 \approx Z^2 r_0^2 \alpha \left(\frac{E_\gamma}{m_\Omega} \right)^6 10^{-2}; \quad r_0 = \frac{\hbar^2}{m_\Omega c^2} \sim 10^{-16} \text{ см.}$$

Если принимать во внимание формфактор ядра, то возникает сильное уменьшение степени зависимости от энергии E_γ^0

$$\sigma^{\text{form}} = Z^2 r_0^2 \alpha \left(\frac{E_\gamma^0}{m_\Omega} \right)^3 \left(\frac{q_{\text{max}}}{m_\Omega} \right)^3.$$

Если

$$m_\Omega \sim 2m_P; \quad r_0 \sim 10^{-16} \text{ см,}$$

тогда в лабораторной системе при $E_\gamma \sim 20m_P$

$$\sigma_{\gamma, P, \Omega}^0 \sim 10^{-33} \text{ см}^2 \quad \text{для } \gamma + P \rightarrow P' + \Omega^- + \Omega^+,$$

то для полных сечений можно ожидать

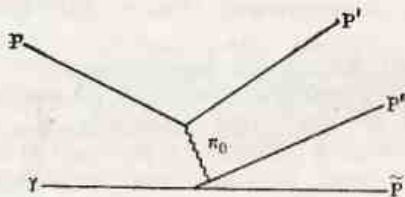
$$\sigma_{\text{tot}}^{\text{form}} \geq 10^{-33} \text{ см}^2 \quad \text{при } E_\gamma^0 > 20m_P.$$

Мы можем напомнить, что чисто электромагнитный процесс, $\gamma + P \rightarrow P' + P'' + \tilde{P}$ на точечных частицах, вычисленный теоретически, равен $\sigma^0 \sim 10^{-33} \text{ см}^2$.

Согласно экспериментальным же результатам на DESY

$$\sigma_0 \sim 10^{-31} \text{ см}^2.$$

Этот результат может быть интерпретирован таким образом: в диаграмме



т. е. момент нуклону P'' передается с помощью π^0 мезона.

Другими словами, сильное взаимодействие в промежуточном состоянии увеличивает существенно рождение нуклонных пар, рассматриваемых электродинамически как точечное взаимодействие: т. е.

$$\sigma_{\text{tot}}^{\text{form}} > \sigma_0.$$

При γ квантах $E_\gamma \gg 20 \text{ Gev}$, полное сечение для образования $\Omega^- + \Omega^+$ пар может оказаться больше сечения образования пучлонно-антипучлонных пар, если спин Ω^- -частицы действительно равен $3/2$.

Подобные реакции представляют интерес независимо от общей точки зрения, развиваемой в этом докладе. Речь идет, возможно, о высокой энергетической зависимости рождения частиц с высокими спинами. Может представлять интерес поискать и в космических лучах в принципе возможные частицы с более высокими спинами (например, $5/2$ или $7/2$).

Возвращаясь к гипотезе неупругих процессов, следует заметить, что эти же соображения могут быть распространены и на поиски кварков:

$$\gamma + P \rightarrow P' + q + \bar{q} + \dots$$

То же самое может относиться и к образованию заряженных промежуточных бозонных пар.

Аналогично можно ожидать некоторого увеличения когерентного рождения $\mu^+ + \mu^-$ пар на ядрах.

$$\nu_\mu + Z \rightarrow Z' + \mu^+ + \mu^- + \dots$$

Некогерентное образование μ^+ , μ^- пар, например на свинце, может оказаться больше когерентного.

При энергиях $\sim 10 \text{ Gev}$ на свинце это сечение вряд ли может быть больше, чем 10^{-40} см^2 .

По-видимому, соответствующий эксперимент требует интенсивности протонного пучка больше, чем $5 \cdot 10^{15}$ прот./сек. Последний процесс имеет тот интерес, что осуществление прямого взаимодействия $(\nu\mu)$ $(\nu\mu)$, в сущности, пока не предвидится.

Исследование процесса

$$\nu_\mu + P \rightarrow P + e^+ + e^- + \nu_\mu + \dots$$

представляет не меньший интерес, чем процесса $\nu_\mu p \rightarrow \nu_\mu' P'$, который имеет отношение к возможному существованию нейтральных токов в слабых взаимодействиях.

Я хотел бы сделать ряд замечаний общего характера по докладам Симпозиума.

Я принадлежу к поколению, во времена которого рождалась и развивалась современная теория элементарных частиц, современная квантовая теория. Представляет известный интерес понять, что происходило на этом Симпозиуме, уяснить ситуацию в историческом аспекте. Именно, какие достижения теория элементарных частиц имела в прошлом, к чему мы приходим в настоящем и каковы дальнейшие перспективы. Некоторые замечания неизбежно будут иметь субъективную окраску.

Ситуация в теоретической физике имеет некоторую аналогию с известной шуткой относительно одного сумасшедшего дома, где каждый из больных, а в том числе и врач, только себя считал истинным Иисусом Христом и решительно отвергал подобные претензии остальных больных.

Все мы больны теоретической физикой, и прогресс науки был бы невозможен без фанатической веры в справедливость собственных идей.

Я полагаю, что выражу общее мнение, если скажу, что Симпозиум был успешным.

Хотя мы не покидаем Симпозиум с сознанием, что, наконец, построена последовательная теория элементарных частиц, свободная от расходимостей. Но мы можем тем не менее констатировать некоторые успехи на путях к построению такой теории: вернее, мы яснее видим возникающие трудности и можем смотреть на них с открытыми глазами.

На Симпозиуме обсуждались различные пути в развитии теории. Обсуждались проблемы нелинейных теорий, теории нелокальности и, в частности, та форма последней, которая реализуется неевклидовой геометрией в пространстве импульсов. Обсуждались и возможности indefinite метрики. Следует заметить, что все эти направления в развитии теории обсуждались и в прошлом. Стоит подчеркнуть: и в отдаленном прошлом. Так, «возраст» нелинейной

теории — около 60 лет (G. Mie, [22], S. 514; [23], S. 1; [24], S. 1). Релятивистски инвариантный формфактор тоже имеет почтенный, почти сорокалетний возраст (G. Watagin, [25], S. 92); его геометрическая интерпретация в пространстве импульсов имеет также более чем 30-летний «возраст» (M. Born, [26], p. 294). Возраст наиболее молодой теории, связанной с indefinite метрикой, — это почти четверть столетия...

В течение этих десятилетий во всех этих направлениях появлялись многочисленные работы. Многие доклады нашего Симпозиума посвящены также почти всем тем же направлениям.

За все время развития обсуждаемых направлений в теории поля и элементарных частиц выясняется одно общее свойство предпринимаемых попыток, именно, что преодоление трудностей с расходимостями ведет к новым добавочным трудностям, которых не знает традиционная теория. Работа в течение последних десятилетий была посвящена частично успешному преодолению многочисленных внутренних трудностей предлагаемых формализмов.

Другими словами, все эти теории развивались, главным образом, «работая на себя», — как это часто бывает, согласно известному закону Паркинсона в большом, но малоуспешном бизнесе. Как это известно и как это показывает работа Симпозиума, большинство усилий направлялось на развитие идей нелокальной теории, вводящей в формализм релятивистски инвариантный обрывающийся фактор. В самом начале развития этого направления возник вопрос: исходя из каких общих принципов можно получить однозначное выражение для формфактора. Проблема однозначного выбора формфактора остается также нерешенной и после этого Симпозиума. Лет тридцать тому назад была сделана попытка сформулировать идею протяженного источника, более точно, идею нелокального точечного взаимодействия на основе ограничения измеряемости поля, в малой области связанного с атомизмом электрического заряда¹.

¹ Согласно анализу квантовой электродинамики, данному Бором и Розенфельдом, электродинамика в ее современной форме предполагает измеримость электромагнитного поля в любой малой области, которая, в свою очередь, предполагает существование пробных зарядов, локализованных в как угодно малой области с как угодно большим электрическим зарядом. Идея статьи

* Заключительное слово по докладам 2-го Международного симпозиума по нелокальной квантовой теории, Асау, 14—25 марта 1970 г. Препринт, Дубна E2—5270. Перевод с английского.

Условия на измеримость поля были сформулированы ([27], с. 1311) с помощью соотношения некоммутативности между величинами поля (потенциалом A_μ) и четырехвектором координаты точки (вернее, координаты пробного тела)

$$A_\mu x_\nu - x_\nu A_\mu \neq 0.$$

С одной стороны, это соотношение представляет собой нелокальность поля в прямом смысле этого слова². С другой стороны, здесь формально также возникает некоторый формфактор. Но, к сожалению, здесь так же, как и в других известных попытках ввести формфактор, коммутатор $[A(x), A(y)]$ не исчезает на пространственно-подобной поверхности. На этом примере было сформулировано ([28], с. 790) также нарушение принципа причинности, которое оказывалось очень общим для известных попыток преодолеть расходимости в теории поля введением релятивистски инвариантных формфакторов, иногда соответственно изменяя формализм S -матрицы.

В последующее время стали ясны и другие трудности предлагаемых формализмов, связанные с нарушением унитарности, калибровочной инвариантности и построения T -произведения в формализме S -матриц. Любопытно, что многие из этих трудностей оказывались общими в различных предлагаемых теориях, лишенных трудностей с расходимостями.

Постепенно, однако, было установлено, что трудности с унитарностью, калибровочной инвариантностью в принци-

[27] состояла в том, что современный формализм электродинамики находится в противоречии с атомизмом электрического заряда, и если принять во внимание атомизм заряда, то мы должны прийти к некоторой другой электродинамике, где должны возникнуть ограничения измеримости электромагнитного поля в малой области, которое лишает физического смысла интегрирование по малой области вблизи источника (т. е. вблизи электрона). Следует подчеркнуть, что вопрос о том, к какому ограничению ведет учет атомизма заряда для измеримости электромагнитного поля и как в этом случае должен измениться соответствующий формализм современной электродинамики, этот вопрос и в настоящее время является открытым.

² Все другие формулировки «нелокального поля», начиная с Ватанага, представляют собой в прямом смысле протяженности источника или нелокальность взаимодействия. Термин «нелокальные поля» в сущности неадекватен этим формализмам.

пе устранимы³ — этим проблемам была посвящена часть докладов Симпозиума.

Но все-таки остается фундаментальная трудность, острее говоря, фундаментальное отличие нелокальных теорий от традиционных локальных. Эта трудность связана с нарушением принципа причинности, которое формально выражается в том, что соответствующий коммутатор величин поля не обращается в нуль на пространственно-подобной поверхности.

Как это показано на данном Симпозиуме, преодоление трудностей с расходимостями с помощью indefinite метрики также ведет к нарушению причинности.

Имеются, однако, попытки эту основную трудность нелокальных полей значительно ослабить, ограничивая нарушение причинности лишь соответствующими малыми пространственно-временными областями. Условия нарушения причинности лишь в «малом» (microcausality) широко обсуждались на Симпозиуме. К сожалению, идея нарушения причинности лишь в малых областях нешла пока своей достаточно ясной физической интерпретации.

Хотелось бы знать, какую «цену» надо платить за нарушение микропричинности. Хотелось бы представлять и оценивать те предсказания в поведении физических явлений, которые могут явиться следствием нарушения микропричинности. Кроме того, откровенно говоря, неясно, насколько последовательны и совместимы нарушения микропричинности со строгим сохранением макропричинности. В конце концов — это вопрос точности макроскопического эксперимента. Кажется, что имеется одна возможность нарушения микропричинности — это тот случай, когда микропричинность сама по себе лишается физического содержания. Это, например, возможно тогда, когда лишается смысла само понятие интервала ($ds^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu$) вследствие квантовых флуктуаций метрического тензора $g_{\mu\nu}$ ⁴. Иначе говоря, уяснение возможного физического смысла

³ Калибровочная неинвариантность нелинейной электродинамики (Ми) преодолевается Борн-Инфельдской нелинейной электродинамикой. Некоторые формы нелинейной электродинамики также ведут к сигналам, распространяющимся со скоростью, большей скорости света.

⁴ Такая ситуация может возникнуть на длинах порядка $l \sim \sqrt{\hbar \kappa} / c^2 \sim 10^{-23}$ см; κ — гравитационная константа. Речь идет о квантовой теории гравитационного поля. См. с. 125.

нарушения микропричинности придется включить в программы соответствующих будущих симпозиумов.

На этом Симпозиуме мы многое узнали относительно не-локальных полей в аспекте аксиоматических подходов. На Симпозиуме много времени и внимания было уделено математическим формализмам теории поля. Речь шла о методах функционального интегрирования, о геометризации формализма теории поля, применении различного рода алгебр и т. д. Следует подчеркнуть, что новые математические методы пока не обладают, так сказать, большой производительной силой. В связи с некоторым обеднением в настоящее время (1970 г.) теоретическими идеями, обычно стимулирующими физический эксперимент, возникает вопрос, представляет ли такое состояние сумерки теоретической физики или же оно является естественным этапом в ее развитии? Следует подчеркнуть, что пока в теории поля продолжает ощущаться необходимость в развитии ее формализма. Даже в электродинамике, теории в математическом отношении наиболее развитой, нет уверенности, что проблемы расходимостей вне рамок теории возмущений, в рамках более совершенного формализма не потеряют существенной модификации.

Следует напомнить, что переход от классической физики к квантовой электродинамике отмечен уменьшением расходимости собственной энергии электрона от линейной до логарифмической. Можно ли надеяться, что вне рамок теории возмущения в результате более точных вычислений природа могла бы пойти на дальнейшие «уступки»?

Предварительные результаты, доложенные на Симпозиуме, в этом смысле пока совсем не оптимистичны.

Пока мы продолжаем воспринимать с привычной бездумностью «подарок судьбы» в форме возможности процедуры ренормализации ряда видов взаимодействий. Мы пока не знаем, почему беспрецедентное «руками производимое» вмешательство в аппарат теории продолжает работать, т. е. пока не приходит в противоречие с экспериментом⁵.

⁵ В предисловии к русскому изданию книги «Принципы квантовой механики» (четвертое издание) П. А. М. Дирак пишет, что он не включил в эту книгу методы ренормализации, ибо невозможно обосновать эту процедуру с такой же строгостью, что и остальное содержание книги, и сомнительно, что эта процедура удержится в теории в дальнейшем.

Конечно, следует полагать, что значения масс элементарных частиц возникнут в будущей теории. Но пока следует признать, что эта «рукотворная» процедура, может быть, вследствие недостаточности точного эксперимента, пока не приходит в противоречие с экспериментальными данными. В результате такой ситуации общественное научное мнение более озабочено случаями перенормализуемых взаимодействий. Поэтому различные попытки построения соответствующего эффективного формализма для перенормализуемых теорий были предметом обсуждения на Симпозиуме. В частности, обсуждалась возможность работать с так называемыми суперпропагаторами.

На Симпозиуме были представлены исследования свойств Янг-Миллсовских полей. Обращает на себя внимание утверждение, что Янг-Миллсовское поле при стремлении массы соответствующего векторного мезона к нулю не переходит в максвелловскую электродинамику.

Может быть, этот переход следует делать более корректным образом. Что касается взгляда на будущее, ближайшее будущее теории поля, то предсказания не кажутся слишком оптимистическими. Последнее замечание относится, главным образом, к традиционной идее введения размеров источника поля с помощью различного рода релятивистских инвариантных формфакторов.

Мне кажется, как это на первый взгляд ни странно, что здесь нет достаточной ясности в наших устремлениях с самой общей точки зрения. Именно: чего бы мы хотели достичь в наших попытках? К какому научному идеалу мы стремимся? Допустим, мы достигнем успеха в рамках электродинамики теории, свободной от расходимостей с помощью какого-то удивительного по всем свойствам приемлемого формфактора.

Возникает вопрос, *какое отношение эта теория будет иметь к реальному электрону?* Для собственной энергии электрона электродинамика дает логарифмическую расходимость:

$$\Delta m \sim \frac{3\alpha}{2\pi} m_e \ln \frac{M_1^2}{m_e^2}.$$

Масса электрона имеет электромагнитное происхождение, если

$$\frac{3\alpha}{2\pi} \ln \frac{M_1^2}{m_e^2} \approx 1.$$

Или соответствующее расходящееся выражение обрывается на длине

$$r_0 \sim \frac{\hbar}{m_e c} e^{-\frac{\pi}{3} \frac{\hbar c}{e^2}} < 10^{-100} \text{ см.}$$

Эта длина на много порядков меньше, чем размеры гравитационного радиуса электрона:

$$r_{\text{гр.}} \sim \frac{2m_e r_e^2}{c^2} \sim 10^{-55} \text{ см.}$$

Но вероятно, что наименьшая длина, которую можно рассматривать в современной теории, — это длина

$$l_{\text{гр.}} \sim \sqrt{\frac{\hbar \kappa}{c^3}} \sim 10^{-33} \text{ см,}$$

на которой квантовые флуктуации метрики лишают смысла само понятие расстояния между двумя точками.

Если приведенная выше ситуация имеет отношение к реальному электрону, то все это скорее свидетельствует о том, что масса электрона и вообще природа электрона, теория электрона не может ограничиваться рамками электродинамики и теорией одной частицы. К сожалению, экспериментальные возможности проверки применимости квантовой электродинамики, как следует из докладов Симпозиума, не очень оптимистичны⁶. Следует заметить, что экспериментом пока пройдена так называемая адронная длина ($\hbar/m_p c \sim 10^{-14}$ см) и в ближайшем будущем ожидаются возможности исследования на параметрах удара 10^{-15} см.⁷ Но дальнейший прогресс в изучении чисто электродинамических действий на меньших длинах встречается с серьезными трудностями. Как следует из докладов на этом Симпозиуме, на меньших длинах электродинамические поправки к наблюдаемым эффектам становятся того же порядка, как поправки от сильных и, вероятно,

⁶ Если принять во внимание доложенную работу на Симпозиуме, согласно которой вне рамок теории возмущения вместо логарифмической расходимости возникает линейная расходимость, но с очень малым численным фактором $e^{-\beta \hbar c / e^2}$ при $\beta \approx 1$, то и это выражение ведет к малой добавке к массе электрона в рамках одной электродинамики, учитывающей существование одной элементарной частицы — электрона.

⁷ Этот факт имеет серьезное значение для сильных взаимодействий, в которые также вводятся соответствующие формфакторы.

слабых взаимодействий. Возможно, что дальнейший прогресс в учете только электродинамических взаимодействий в изучаемых процессах ограничивается рамками еще одного порядка по сравнению с достигнутыми результатами.

По-видимому, наиболее «чистые» результаты в этом смысле могут быть достигнуты в (ee) , $(e\bar{e})$ и $(e\mu)$ взаимодействиях. Несомненно, что длина так называемых слабых взаимодействий $L_w \sim \sqrt{G_w / \hbar c} \sim 10^{-17}$ см. — это та длина, с достижением которой в соответствующих экспериментах связываются особенно большие надежды.

Многие явления в природе слабых взаимодействий получают свою теоретическую интерпретацию, и вообще много нового и, может статься, неожиданного возникнет в экспериментах на этих длинах.

Возвращаясь к идее построения электродинамики, свободной от расходимостей, на основе нелокальной теории в рамках одной электродинамики, следует подчеркнуть, что эта идея, ограниченная рамками одной электродинамики, становится все менее и менее привлекательной. Возможны даже соображения в пользу того, что масса электрона окажется в основном неэлектромагнитного происхождения.

Идея формфактора, исключающего все расходимости, имеет определенный интерес в том случае, когда основные свойства частицы определяются, главным образом, одним данным полем, когда остальные поля дают лишь слабые поправки или когда имеется одно «протополе», соответственно одна «протоматерия», определяющая как-то спектр наблюдаемых частиц.

Следует сказать, что современные тенденции в физике поют скорее противоположный характер. Что касается сильных взаимодействий, то здесь ситуация скорее в пользу «ядерной демократии». Здесь, кажется, трудно выделить среди сильно взаимодействующих полей (частиц) некоторое доминирующее фундаментальное поле.

Как известно, имеют некоторые основания считать, что так называемые слабые взаимодействия на малых расстояниях могут также возрасти до ранга взаимодействий сильных.

В заключение я хотел бы сказать несколько слов относительно возможной роли гравитационного поля в теории элементарных частиц. Мне кажется, что существовало и еще существует в научном общественном мнении предвзятое

мнение, будто гравитация не может иметь существенное значение в теории элементарных частиц. Очевидно, что слабость гравитационных сил на ядерных расстояниях является определенным аргументом в пользу такого мнения, при условии, что эти расстояния определяют природу элементарных частиц.

Удивительно, что этот психологический барьер действует, например, в электродинамике на протяжении почти полувека, в то время как в аппарате электродинамики имеет место возникновение как угодно больших (расходящихся) значений для масс частиц. И в промежуточных состояниях испускаются и поглощаются кванты как угодно больших масс.

Казалось бы, в этих случаях возникают в принципе бесконечно большие гравитационные силы, но в вычислениях ими полностью пренебрегают. Возникающие гравитационные поля здесь таковы, что по сравнению с ними электромагнитные силы пренебрежимо малы.

Можно только удивляться тому, что при таких бессмысленных вычислениях расходящихся интегралов мы решаемся утверждать, что современная теория ведет к расходящимся значениям собственной массы электрона. Конечно, можно выдвинуть утверждение, что учет гравитационных взаимодействий здесь не решит проблему. Но предрассудки научного общественного мнения таковы, что пока корректный анализ возможной роли гравитационного поля в данных проблемах отсутствует.

Интересно в то же время подчеркнуть, что такие наиболее строгие менторы научного общественного мнения, как Паули ([29], р. 69) и Ландау ([30], р. 52), в конце жизни высказывались в пользу возможной роли гравитации в теории элементарных частиц.

Классическое рассмотрение проблемы мне представляется очень обещающим. В рамках общей теории относительности оказывается более естественной не точечная, а протяженная частица. Протяженная частица в рамках общей теории относительности (см. «фридмон») совместима как с требованиями релятивистской инвариантности, так и (что важно) с требованием причинности: в результате изменения метрики световой сигнал вблизи такого объекта замедляется: в противоположность традиционным нелокальным схемам, скорость сигнала остается меньше скорости света в пустоте. Гравитационный дефект масс материи, локализо-

ванной с большой плотностью в малом объеме в общей теории относительности (учет в основном принципа эквивалентности), спасает классическую теорию («классический электрон») от расхождений. Сомнительно, что ожидаемый гравитационный дефект масс по каким-то причинам откажется «работать» в квантовой области. Но соответствующей корректной теории, учитывающей последовательно принцип эквивалентности при учете гравитационного дефекта масс общей теории относительности, в релятивистской квантовой области пока нет.

* * *

Речь на заключительном заседании Симпозиума в существенной части звучала как похоронный звон по идее нелокальности в теории полей.

В свое время у самых истоков идеи нелокальности автор много усилий затратил на исследования возможных формулировок этой теории и анализа трудностей, с ней связанных.

Правда, в этой речи оказывалось известное предпочтение той форме нелокальности, которая не вводит в теорию размеры частиц как явный структурный фактор этих объектов, а предполагает существование малых областей пространства «около частиц», где теряют смысл физические величины (имеется в виду смысл понятия поля, например, закон Кулона и, может быть, понятие самого расстояния).

Другими словами, речь идет о воспоминаниях очень недавнего прошлого (1940), когда делалась (*ad hoc*) попытка такого рода в электродинамике. По мнению автора, лишь такое толкование возможной нелокальности имеет приемлемый физический смысл. Настоящее послесловие в сущности возвращает нас к обсуждению такой попытки, но уже, так сказать, «на высшей основе» — с привлечением гравитации в рамках общей теории относительности. Здесь рассматривается нелокальность, постулируемая не *ad hoc*, а возникающая естественным образом, как результат квантования гравитационного поля. Правда, пока нет исследования полного формализма квантовой теории гравитации, а возникают лишь некоторые соотношения, основанные на квантовых соотношениях

Гейзенберга, так называемых соотношениях неопределенностей. К сожалению, органически, т. е. из математического аппарата теории, еще пока несовершенного аппарата квантованного гравитационного поля, эти соотношения в этой форме (т. е. форме, когда возникает необходимость в критике понятия поля в малых областях) еще не получены. Хотя и здесь возникает надежда, что противоречие между принимаемым при построении теории понятием поля в как угодно малом объеме пространства-времени и квантовыми соотношениями неопределенностей, т. е. противоречие концептуального характера, найдет свое естественное решение в последовательном математическом аппарате квантовой теории. Необходимо подчеркнуть, что обсуждаемая нелокальность в отличие от той, о которой шла речь выше, отодвигается в глубь микромира примерно на 20 порядков ($\Delta X_{min} \sim 10^{-32}$ см.).

Если полагать, что минимальные размеры пробного тела определяются его гравитационным радиусом, то анализ измеримости поля по Бору — Розенфельду ([31]) требует существенных корректив.

Действительно, ошибка в измеримости среднего значения электростатического поля E по Бору — Розенфельду

$$\Delta E \sim \frac{\hbar}{e \Delta X \Delta T},$$

где e — заряд пробного тела, ΔX — его размеры, ΔT — время.

Т. е. чем больше заряд пробного тела e , тем меньше неопределенность измерения. Но с электростатическим полем заряда и размерами пробного тела ΔX связаны масса

$$m \sim \frac{e^2}{\Delta X c^2}$$

и соответствующий гравитационный радиус

$$r_{gr}^e \sim \frac{\kappa m}{c^2} = \kappa \frac{e^2}{\Delta X c^4},$$

где κ — гравитационная константа.

Другими словами, минимальные размеры пробного тела заряда e равны $\Delta X = r_{gr}^e \sim \frac{e \sqrt{\kappa}}{c^2}$.

Таким образом, хотя ошибка в измерении поля действительно уменьшается с ростом заряда пробного тела, но

область, по которой усредняется поле с увеличением заряда пробного тела, неограниченно растет.

Следовательно, минимальные размеры пробного тела ограничены величиной его заряда e .

Так, при e , равном заряду электрона,

$$\Delta X_{min} \sim r_{gr}^e \sim \frac{e \sqrt{\kappa}}{c^2} \sim 10^{-33} \text{ см}$$

и отсюда

$$\Delta E c \Delta T \sim \frac{\hbar}{c} \frac{V \sqrt{\kappa}}{(r_{gr}^e)^2} \quad (\alpha)$$

Соотношение α показывает, что, например, электростатическое поле электрона может быть измерено как угодно точно за время $\Delta T \rightarrow \infty$. Но это измерение принципиально не может быть выполнено в областях

$$\Delta X < \frac{e \sqrt{\kappa}}{c^2} \sim 10^{-33} \text{ см.}$$

В данном случае гравитационное поле пробного тела рассматривается в рамках классической физики, как это обычно принимается Бором во всех трактовках проблем измерения с помощью прибора. Цель использования классического пробного тела, вообще говоря, такова, что его возможные параметры делают несущественным для его описания неопределенности, даваемые соотношениями неопределенностей Гейзенберга для описания поведения пробного тела.

Есть основания полагать, что учет гравитационного радиуса пробного тела налагает ограничения на измеримость координат и времени в евклидовом пространстве вообще, что существуют соотношения типа $\Delta R \Delta T \geq \hbar \kappa / c^4$, где ΔT — неопределенность в определении времени часами, локализованными в области, даваемой с точностью $\Delta R = \Delta r_{gr}$, где r_{gr} — гравитационный радиус часов.

Как заметил еще Вигнер, соотношение Гейзенберга $\Delta E \Delta T \sim \hbar$ ведет к тому, что точность работы часов зависит от неопределенности их массы: $\Delta E = c^2 \Delta m$.

Точному измерению времени, согласно Вигнеру, соответствует бесконечно большая флуктуация их массы, а следовательно, и гравитационного поля. Но если пойти дальше в этом анализе, обратив внимание на то, что масса Δm должна обладать гравитационным радиусом $\Delta r_{gr} \sim \Delta m \kappa / c^2$,

то соотношение Гейзенберга переписывается в виде

$$\Delta R \Delta T \geq \frac{h\kappa}{c^3}.$$

Если полагать, что положение часов не может быть определено точнее, чем размеры их гравитационного радиуса, то неточность во времени и положение часов $\Delta R = \Delta R_{gr}$ связываются соотношением

$$\Delta R \Delta T \geq \frac{h\kappa}{c^3}.$$

Если далее полагать, что неточность в измерении времени $\Delta T_{\min} \geq \frac{4R}{c}$, то $\Delta R_{\min}^2 \geq \frac{h\kappa}{c^2}$.

Так мы приходим к возможному существованию индивидуальных ошибок для измерения координаты

$$\Delta R_{\min} \geq \sqrt{\frac{h\kappa}{c^3}} \sim 10^{-32} \text{ см.}$$

Эта Планковская длина часто фигурирует в различных работах при обсуждении, в частности, квантовых флуктуаций метрики.

Предыдущие выводы справедливы только при условии, что размеры пробного тела (в данном случае часов) не могут быть меньше их гравитационного радиуса. Это значит, в частности, что нельзя использовать падающую систему координат при описании работы часов.

Хотя в такой системе координат нет особенности на сфере Шварцшильда, но информация из этой системы внешнему наблюдателю, как известно, прекращается при пересечении этой системой (при ее падении) сферы Шварцшильда. Предыдущее рассмотрение также предполагает отсутствие в общей теории относительности голых особенностей, не прикрытых сферой Шварцшильда, пригодных для роли часов.

Именно соотношения типа (α) между измеримостью поля и координаты следуют из перестановочных соотношений, обсуждавшихся в связи с гипотезой, изложенной в [27], т. е. соотношения типа $\Delta X_{\mu} \Delta A_{\nu} \neq 0$. Здесь A_{μ} — потенциал электромагнитного поля.

Если предыдущие соображения справедливы, то включение гравитационного поля в семейство всех квантовых полей должно привести к теории нелокального типа. Пока речь идет о «соображениях».

Действительно, возникает вопрос концептуального характера. Ведь при построении квантовой механики использовались понятия импульса и координаты классической механики. Процедура измерения импульса частицы самого по себе и координаты самой по себе в квантовой области имеет такой же смысл, как и в классической механике.

Ограничение же на одновременное измерение импульса и координаты (соотношение Гейзенберга) дается автоматически формализмом квантовой теории.

Другая ситуация имеет место при попытке построения квантовой теории полей включая гравитационное поле. Здесь при современных известных попытках построения квантовой теории гравитационного поля и общей теории полей в основе концептуальных представлений предполагается:

а) справедливость понятия поля в как угодно малой области,

б) классическое понятие пространства $ds^2 = g_{\mu\nu} dx^{\mu} dx^{\nu}$ имеет смысл в как угодно малых пространственно-временных интервалах.

Обсуждавшееся выше возможное нарушение структуры пространственно-временного континуума, как представляется, должно приводить к внутреннему противоречию во всех подобных попытках. Однако если предыдущие соображения о принципиальной неточности в измеримости физических величин в малых областях справедливы, то концептуальные трудности, о которых идет речь, перестают быть реальными трудностями.

Вернее, «трудности» должны возникать в тех областях, которые не имеют физического смысла.

В математическом аппарате теории эти специфические ситуации могли бы быть характерны для формально входящих в теорию так называемых промежуточных состояний. Нас не смущает, что и в квантовой теории полей в промежуточных состояниях «нарушается», например, закон сохранения энергии.

Собственная масса электрона вычисляется, как говорят, во втором порядке теории возмущения. Эти вычисления сводятся к тому, что в начале электрон испускает фотон с некоторой энергией E (промежуточное состояние, характеризующее этой энергией). А затем (второе приближение) этот фотон поглощается снова электроном.

Значение энергии E промежуточного состояния может быть любым — оно не связано законом сохранения энергии.

Есть основания полагать, что в квантовой теории полей, включающей и гравитационное поле, возникает ряд других промежуточных состояний (как говорят, состояний не на массовой оболочке). Эти состояния обладают такими массами, такими характеристиками («спиндефинитной метрикой»), которые «работают» таким образом, что вычисляемые реальные массы частиц становятся конечными (см. приложение А).

Если рассматривать пространственно-временную картину описываемого эффекта, то формально в теории возникнут области, где нарушается причинность. Но это нарушение никогда не может стать объектом экспериментального наблюдения, как и нарушения закона сохранения энергии в промежуточных состояниях.

Таким образом, спустя почти сорок лет, автору представляется целесообразным снова вернуться к идеям нелокальных полей.

Пройден длинный путь исканий по дороге надежд, сомнений и даже отрицаний в развитии идей нелокальности.

Всегда была привлекательна идея такого варианта теории нелокального поля, «трудности» которого формально в теории существуют, но относятся к явлениям, физически не реальным («не наблюдаемым»).

Другими словами, речь идет о таком варианте нелокальности, который смутно виделся в работах [27] и который теперь как будто может естественным образом реализоваться включением в общую теорию квантованных полей и гравитационного поля.

Следовательно, лишь ограничивается пространственно-временное, но не причинное описание явлений. Парадокс Зенона об Ахилле и черепахе получает иное толкование.

Изменение пространственно-временных представлений имеет, конечно, концептуальный характер. Достоинно удивления скорее не то, что наши представления о пространстве и времени должны измениться, а удивляет то, что представления эти, возникшие в «грубом», макроскопическом опыте, оказались столь широко применимыми при нашем столь глубоком проникновении в микромир.

Более детальное рассмотрение этого возможного концептуального «противоречия» приходится отложить до будущих, возможно, ближайших будущих времен.

Легко проследить исторически, что генеральная линия в развитии понимания структуры материи, различных свойств ее, различных форм всегда определялась в стремлении понять, как образуется данная форма материи, ее свойства, из свойств некоей формы материи, более фундаментальной.

И правда, пока всегда находилась более фундаментальная форма материи, свойствами которой так или иначе объяснялись свойства материи изучаемой.

Так было. Но, спрашивается, каковы прогнозы на будущее? Спрашивается, каковы в настоящее время наши чаяния, наши научные стремления, тенденции науки, наконец, может быть, наши интуитивные научные желания или даже более неопределенно — наши научные вкусы.

Логически, казалось бы, ответ на поставленный вопрос исчерпывается двумя, по сути дела, альтернативными решениями.

1. Иерархия форм материи безгранична.

2. Исследование иерархий форм материи заканчивается открытием первоматерии.

Но, как показывает более внимательный анализ проблемы, существует еще одна возможность (или даже возможности), которая выходит за рамки сформулированных альтернативных решений, но в то же время как бы синтезирует своеобразным образом две сформулированные выше, как, казалось бы, противоположные, исключаящие друг друга возможности.

Эта возможность, как будет видно в дальнейшем, возникает в результате развития физики последнего столетия, она за недостатком конкретных знаний структуры вещества и свойств пространственно-временного континуума не могла обсуждаться ранее. Эта возможность представляется автору более привлекательной.

Альтернативные же точки зрения, правда, с преимуществом первоматерии формулировались во все исторические времена, у всех народов, видимо, с самого начала возникновения разумной человеческой деятельности.

Одну из этих альтернативных идей, идею абсолютного

* «Вопросы философии», 1970, № 4.

атомизма, и в этом смысле идею первоматерии — мы для краткости будем обозначать именем Демокрита. Идею же бесконечной делимости вещества или более общую идею бесконечной иерархии форм материи будем ассоциировать с именем Эмпедокла⁴. Стремление понять «что-то» как состоящее из «чего-то» более простого, фундаментального всегда было прогрессивным и приводило, как свидетельствует история, к довольно существенным позитивным результатам. Идея первоматерии как основа и побудительный мотив определенного подхода к анализу материального мира всегда являлась и является продуктивной.

Но эта же идея таит в себе своеобразные трудности. Действительно, свойства первоматерии не могут быть получены или истолкованы как результат каких-то более фундаментальных свойств материи. Свойства первоматерии должны быть ей *приписаны*. По определению бессмысленно ставить вопрос, почему первоматерия обладает такими, а не другими свойствами, — по определению на этот вопрос не может быть ответа.

Нет ли в этом глубокого принципиального порока идеи первоматерии? Ведь таким образом идея первоматерии оказывается в конце концов бессильной дать исчерпывающий ответ на вопрос о происхождении фундаментальных свойств материи.

Но требуется ли этот ответ?

Было время, когда отсутствие ответа на этот вопрос могло рассматриваться как нечто само собой разумеющееся. «Мне представляется, — писал Ньютон, — что бог с самого начала сотворил вещество в виде твердых, непроницаемых, подвижных частиц и что этим частицам он придал такие размеры и такую форму и такие другие свойства, и создал их в таких относительных количествах, как ему нужно было для этой цели, для которой он их сотворил» ([9], с. 1287).

⁴ Здесь мы допускаем неточность. На самом деле Эмпедокл не имеет отношения к бесконечной иерархии форм материи; он автор, как бы мы теперь сказали, «теории четырех стихий» и их бесконечной делимости. Мы допускаем также несправедливость в отношении имен (могли быть названы и другие имена), времени (могли быть указаны и другие исторические вехи), народов (могли быть указаны не только греки) и т. п.

Имена Демокрита и Эмпедокла в данном случае являются по более чем условными индексами для обозначений понятий.

Здесь своя логика, которая пресекает всякие попытки научного подхода к исследованию свойств первоматерии.

Следует подчеркнуть, что нахождение фундаментальных свойств первоматерии и построение такой теории², т. е. адекватного формализма, — все это находит свое выражение и в аксиоматическом подходе, в построении корректного описания физического мира на основе немногих аксиом. Прототип совершенства всегда видели в геометрии Евклида.

Было время, когда, казалось, и в теоретической физике почти ощущалась близость такого совершенства. В начале текущего столетия Давид Гильберт в своих «Основах физики» писал: «Мы видим, что не только наши представления о пространстве, времени и движении меняются коренным образом по теории Эйнштейна, но я убежден также, что основные уравнения ее дадут возможность проникнуть в самые сокровенные процессы, происходящие внутри атома, и, что, особенно важно, станет осуществимым привести все физические постоянные к математическим константам, а это, в свою очередь, показывает, что приближается принципиальная возможность сделать из физики науку такого рода, как геометрия. . . .» (см. [12]).

В данном случае интересно не то, что время для такого пророчества было выбрано не очень удачно³. Интересна сама программа создания идеальной теории физического мира: «сделать физику наукой такого рода, как геометрия». Все вытекает логически из минимального числа аксиом. . .

А эти аксиомы?

² Последний по времени вариант идеи первоматерии — это спинорное ψ -поле Гейзенберга. Гейзенбергом высказана надежда, что некоторое нелинейное уравнение для спинорного поля обладает решениями, описывающими все наблюдаемые частицы. Программа эта пока не реализована.

В момент кратковременного увлечения этой теорией в кругу физиков-теоретиков можно было услышать крылатую фразу. Впрочем, не звучащую очень радостно: «... видимо, теория элементарных частиц кончается, надо переходить на что-то другое, скорее всего на биологию...»

В истории физики этот мотив мрачного оптимизма не нов — он часто повторяется в различной оркестровке.

³ Т. е. как раз перед открытием квантовой механики. Именно ей, квантовой теории, а не теории Эйнштейна, предстояло «проникнуть в самые сокровенные процессы, происходящие внутри атома...» Да и она спустя полвека все еще далека от аксиоматизации.

Было время, когда всякие попытки ставить какие-либо дальнейшие вопросы о природе аксиом той же геометрии лишались всякого смысла. Согласно Канту, например, евклидовы свойства нашего пространства — это просто априорные чистые наглядные представления, которые поэтому не могут быть иными. Таким образом, как и в случае ньютоновского атомизма, создается полная и по-своему совершенная система взглядов на материальный мир и его закомерности.

Но затем оказалось, что наивный детский вопрос: «а почему?», «почему в природе реализуется именно данная геометрия?» — имеет смысл. И математика за решением этого вопроса обращается не к «чистому наглядному представлению», а к природе, согласно общей теории относительности — к материи.

Спрашивается, к чему же должна обращаться будущая аксиоматическая теория при обосновании именно такой, а не другой группы аксиом, если ее идеалом служит геометрия?

На основании чего дальнейший вопрос «а почему?» можно объявить незаконным? Откуда последуют доказательства единственности такой системы аксиом, невозможности, так сказать, других «неевклидовых физик»?

Преыдущие замечания, на наш взгляд, свидетельствуют о некоей неудовлетворительности идеи первоматерии. Они подчеркивают метафизические черты этой идеи, в какой-то мере утверждающей в конце концов принципиальную непознаваемость мира.

Если не задавать вопроса «почему?» в отношении аксиом, то с созданием последовательной аксиоматической теории, описывающей первоматерию, и вытекающими отсюда следствиями кончается развитие науки⁴.

Таким образом, в данной трактовке мир оказывается познанным «до конца». Но с точки зрения предыдущих замечаний ситуацию можно формулировать и так: *мы ис-*

⁴ В книге В. К. Фредерикса и А. А. Фридмана [32] комментируются слова Д. Гильберта о начавшейся автоматизации физики в таком торжественном и мрачном стиле:

«Нам, к счастью, не дано видеть будущего, и мы не знаем, явится ли эта эпоха аксиоматизации, эпоха скенсиса, предсмертными часами знания...

Но если бы даже это было так, то и тогда логическая красота конца заставила бы нас приветствовать появление принципа относительности» ([32], с. 27).

чертами возможности познания и остановились перед непознаваемым.

Я не знаю, насколько убедительна такая критика идеи первоматерии и адекватной ей идеи об аксиоматической формулировке предельно полного знания о природе; хотелось бы подчеркнуть некоторые, на наш взгляд, метафизические черты этой идеи, на которые, как нам кажется, до сих пор не обращалось внимания. Эти замечания не следует понимать как критику стремления привести в известный строгий порядок ту или иную область нашего знания. Безусловно, нет. Как показывает история, опыт, эти тенденции в развитии наук прогрессивны и просто необходимы. Идет речь, если можно так сказать, о возможности *предельной* форме нашей теории.

Но допустим, далее, что теория в такой предельной форме неосуществима, или, осторожнее, она не соответствует научному вкусу автора, то что же можно предложить взамен — какую или какие гипотезы о форме будущей теории можно высказать, кроме обсуждаемой?

Логически остается альтернативная гипотеза. Это значит предположить, что в природе нет такой формы материи, которая обладала бы свойствами первоматерии.

Это значило бы, что будущее науки — бесконечная цепь открытий все новых и более фундаментальных форм материи, лежащих в основе данных. Познание в этом смысле должно рассматриваться как бесконечный процесс открытий и изучения свойств бесконечной иерархии форм материи.

Последнее утверждение представляет собой и далеко идущую физическую гипотезу.

Можно напомнить, что согласно Аристотелю такая форма неисчерпаемости свойств материи является другой формулировкой ее непознаваемости: с формально математической точки зрения отношение объема познанного к объему неизвестного всегда равно нулю⁵.

⁵ Альтернативные формы предельных теорий почти в таком же логическом аспекте обсуждались еще Аристотелем. В его «Метафизике» можно прочитать следующее: «Вместе с тем ясно, что во всяком случае есть некоторое начало и что причины вещей не бесконечны... В самом деле, нельзя идти в бесконечность, выводя одно из другого... например ...землю из воздуха, воздух из огня, и в этом ряду не иметь оставовки...» ([33], с. 40). Подобного рода утверждения, по мысли Аристотеля, ведут к упреждению знания: «...Знание упраздняют те, кто делает такое

Но теперь, когда мы вооружены пониманием соотношения относительной и абсолютной истины, аристотелевские формальные аргументы не представляются существенными. Тем не менее такая форма неисчерпаемости свойств материи кажется слишком прямолинейной, упрощенной и схематичной.

К тому же, из дальнейшего следует, что на основе наших современных знаний возникают другие возможности. Они нам кажутся и более привлекательными. Возможности эти очень неожиданны в рамках предыдущих, казалось бы, строго логических построений. Именно конкретные знания о микромире вносят существенные коррективы в наши абстрактные рассуждения о предельных формах нашего знания о природе.

Понятие «состоит из...»

Обращаясь к конкретному содержанию физики, мы видим, что понятие «состоит из...» (данный объект «состоит из...») претерпело с развитием науки существенные трансформации.

Исторически совсем недавно, еще на языке ныне живущих физиков старшего поколения, понятие «состоит из...» означало, что объект физики — кристалл, молекула, атом — представляет собой систему, состоящую из частиц, меньших по своим массам и своим пространственным размерам.

Квантовая механика принесла с собой одну неожиданную трудность для дальнейшего экстраполирования такого понятия, как «состоит из...»

Если частица малой массы заключена в очень малом объеме, то по соотношению неточностей Гейзенберга ее

утверждение» ([133], с. 44). Также Лукреций, следуя Демокриту, излагает парадокс Зенона о невозможности бесконечного деления материи ([6], с. 41—43):

Если не будет, затем, ничего наименьшего, будет
Из бесконечных частей состоять и мельчайшее тело.
У половины всегда найдется своя половина,
И для деленья нигде не окажется вовсе предела.
Чем отличить ты тогда наименьшую вещь от вселенной?
Ровно, поверь мне, ничем. Потому что, хотя никакого
Нет у вселенной конца, но ведь даже мельчайшие вещи
Из бесконечных частей состоять одинаково будут

кинетическая энергия возрастает с уменьшением этой области таким образом, что с неограниченным уменьшением этой области кинетическая энергия частицы и, следовательно, ее полная масса стремятся к бесконечности.

Таким образом, оказывается, принципиально нельзя построить бесконечно «мелкую» структуру данного объекта данной массы, пытаюсь строить его механически из частиц меньших масс, занимающих все меньшие объемы в структуре данного объекта. По этой причине оказались в свое время несостоятельными модели ядра, где предполагалось, что электроны находятся в составе ядра, как связывающая субстанция между протонами, образующими данную систему⁶.

В новейшее время исчерпывается идея, ведущая свое начало от глубокой древности, — идея бесконечной делимости в ее различных механических формах.

Правда, в последние десятилетия возникла принципиально новая идея, дающая возможность своеобразным путем продолжить линию Эмпедокла. Но в отличие от традиционной идеи о структуре материи, согласно которой объекты строились из частиц все меньших и меньших масс, возникла идея строить частицы данных масс из более фундаментальных частиц, обладающих большими массами.

Уменьшение массы результирующей системы возникает за счет сильного взаимодействия тяжелых частиц, составляющих систему. В результате этого сильного взаимодействия часть общей массы покидает систему в виде различного рода излучений.

Таким образом, в системе частиц из-за сильных связей между частицами возникает так называемый дефект масс системы. Именно эту массу надо затратить в виде соответствующей ей энергии, чтобы расщепить систему на ее «составные части». Так возникла идея строить π -мезоны из более тяжелых нуклонов и антинуклонов, нуклоны — из частиц еще больших по массе — кварков. Кваркам приписывается масса, равная массе многих нуклонов⁷.

⁶ По необходимости обладая большой кинетической энергией, электрон, локализованный в области ядра, не может быть удержан в его границах электрическими силами.

⁷ Эти идеи могли возникнуть только вместе с теорией относительности, вернее, с установлением соотношения между массой и

Хотелось бы подчеркнуть большую неожиданность этой новой идеи с точки зрения развития линии Эмпедокла в представлениях о структуре вещества. Появление этой новой идеи можно расценивать как самое яркое и значительное событие за всю тысячелетнюю историю существования наших представлений о веществе. Она, с одной стороны, продолжает развитие понятия «состоит из...», но, с другой стороны, находится в своеобразном противоречии с исходной формой этого понятия, в которой оно возникло и могло только возникнуть.

Спрашивается: кварковая форма материи (если эта гипотеза подтвердится) — это первоматерия? Или кварки должны состоять из более фундаментальных частиц и этот процесс созидания частиц лежит на линии развития идеи Эмпедокла? Но линия Эмпедокла в таком варианте привела бы к существованию фундаментальных частиц бесконечно больших масс... Правда, есть одно обстоятельство, возникшее в новой физике, которое при известных условиях в принципе способно ограничить такую возможность⁸.

энергией ($E=mc^2$). Согласно этому соотношению энергия, излучаемая при образовании системы, уменьшает полную массу системы на величину $\Delta m = \Delta E/c^2$.

Но только сильные взаимодействия способны повести к большому выделению энергии при образовании системы, только они дают возможность обсуждать гипотезу образования частиц. Так, при образовании π -мезона из пары нуклон — антинуклон должна выделяться энергия, превышающая десять π -мезонных масс.

⁸ Дело в том, что большая гравитирующая масса, локализованная в малой области, вызывает большой гравитационный дефект массы, который может привести к тому, что результирующая масса объекта уменьшится даже до нуля.

В классической физике это условие имеет вид $m - \frac{\kappa m^2}{2rc^2} = 0$.

Отсюда $r_0 = \frac{m\kappa}{2c^2}$. Здесь κ — гравитационная константа, c — скорость света, r_0 — размеры системы.

Т. е. если система массы локализована в области $r_0 = \kappa \frac{m}{2c^2}$ (четверть «гравитационного радиуса») и в этот момент все частицы системы находятся в покое, то полная масса системы оказывается равной нулю.

Если при этом $r_0 \ll \sqrt{\frac{\hbar\kappa}{c^3}}$, где \hbar — постоянная Планка, т. е. $r_0 < 10^{-33}$ см, то масса частиц, при которой вызываемый ею

Понятие «состоит из...» в современной физике обогащается и другими новыми чертами.

В последние годы возникла идея, которая, правда, отнесется пока к кругу проблем, связанных с сильными взаимодействиями. И эта идея неожиданным образом дает возможность понять, что решение проблемы может совсем не находиться ни в сфере идей Эмпедокла, ни в сфере идей Демокрита. Речь идет о так называемой ядерной демократии (см. [35], с. 51).

Взаимная превращаемость известных элементарных частиц, возможность рождения и исчезновения их, в отличие от прежнего (например, ньютоновского) атомизма, — совершенно новая и фундаментальная черта атомизма современного. Она ведет к существенной взаимной обусловленности свойств различных элементарных частиц, которая в последние годы обнаруживается физиками все чаще и чаще.

Вокруг протона и нейтрона, например, имеется сложное ядерное поле сил. Квантами этого поля являются всякого рода мезоны: π , K , ρ и другие частицы. Такое поле можно наглядно представлять себе в виде виртуального облака этих мезонов.

Однако это мезонное облако настолько существенно определяет свойства протона и нейтрона, что мезоны в известном смысле почти структурно входят в протон и нейтрон.

В самом деле, мезоны ответственны за ядерные силы, действующие между протонами и нейтронами.

Массой мезонов определяется радиус действия соответствующих сил. Токи мезонного облака вокруг протона и нейтрона определяют магнитные моменты этих частиц и т. д.

Электронно-нейтронное поле также вносит свою долю в физические свойства протона и нейтрона. Но то же самое можно сказать и про другие элементарные частицы. Таким образом, протон и нейтрон своим существованием обязаны всем остальным частицам, но то же самое можно сказать о других элементарных частицах.

гравитационный дефект способен погасить ее полностью, оценивается значением $m_{\max} \leq \sqrt{\frac{\hbar\kappa}{\kappa}} \sim 10^{-3}$ гр., другими словами, максимальная масса «элементарной» частицы (назовем ее «максимон» — [34]) должна быть $\sim 10^{-3}$ гр.

В известном смысле можно сформулировать тезис, что «*Всё*» (т. е. каждая элементарная частица) состоит из «*Всего*» (т. е. всех элементарных частей).

Конечно, ничего подобного не было за всю предыдущую историю атомизма.

Естественно, что при таком понимании ситуации, в сущности, нельзя говорить о структуре в старом смысле этого слова. Тем не менее в частных случаях иногда обсуждаются предложения, по духу своему, казалось бы, близкие к старым, привычным структурным моделям. Так, известны предложения рассматривать, например, K -мезон как сложное образование из нейтрона и Λ^0 -частицы:

$$K^0 \equiv n + \tilde{\Lambda}^0. \quad (1)$$

Но были предложения и гиперон, т. е. Λ^0 , рассматривать как комбинацию нейтрона и K^0 -мезона:

$$\Lambda^0 \equiv n + \tilde{K}^0. \quad (2)$$

Или даже нейтрон предполагать сложной частицей:

$$n \equiv \Lambda^0 + \tilde{K}^0. \quad (3)$$

Все эти предположения основаны на идее о том, что сильные взаимодействия способны в рассматриваемых системах создать соответствующий дефект масс.

Но равноправность этих возможностей подрывает саму идею структурности, лишает абсолютности понятие «состоит из...». Структура здесь начинает принимать какой-то относительный смысл — вроде того, как можно использовать различные системы координат для описания физических явлений.

Правда, и в этом смысле не все элементарные частицы равноправны⁹. Но, видимо, таким равноправием обладают члены семейства сильно взаимодействующих частиц. Среди сильно взаимодействующих частиц, как говорят, господствует *ядерная демократия*.

Идея, что «*Всё*» состоит из «*Всего*», стала чуть ли не тривиальностью. Но следует заметить, что адекватного

⁹ В смысле «элементарности» в несколько особом положении находятся такие частицы, как фотон, если они действительно обладают собственной массой, в точности равной нулю. Строго говоря, для такого безапелляционного утверждения нет оснований.

этим идеям математического аппарата пока не построено. Приближенные, пока неудовлетворительные математические модели такого аппарата (так называемый бутстрап) дают основания полагать, что в этом мире обусловленных друг другом связей должно существовать неисчерпаемое, бесконечное число ситуаций, в которых возникают разнообразные объекты типа наблюдаемых частиц.

В каком-то смысле в этом представлении существует, если угодно, и понятие первоматерии — это *всё*, из чего состоит данный объект. Но это *всё в то же время* является, если можно так сказать, и своеобразной «послематерией», которая сама определяется бесконечной совокупностью частиц.

Эта взаимная согласованность, в которой возникают именно такие и такого рода частицы, дает нам надежду на то, что и константы теории, как и сами частицы, в результате такой самосогласованности окажутся такими, именно такими, а не другими.

И мир в целом будет именно таким, каков он есть, и другим быть не может...

Замкнутая иерархия форм материи

Итак, при рассмотрении проблемы «состоит из...» благодаря сильным взаимодействиям возникает новая ситуация. В круге сильно взаимодействующих частиц существует своеобразная «ядерная демократия». Но она нарушается частицами, обладающими только слабыми и электромагнитными взаимодействиями.

Однако, оказывается, возможны такие ситуации, когда даже такое сверхслабое взаимодействие, как гравитационное, может вести к большому дефекту масс, т. е. играть в соответствующих системах роль сильных взаимодействий.

Так, например, как известно, из-за большого гравитационного дефекта масс полная масса замкнутой Вселенной равна нулю. Если рассматривать вариант Вселенной, не полностью замкнутой, «почти» замкнутой, то в зависимости от этого «почти» полная масса такой Вселенной может быть как угодно малой, в частности, например, микроскопических размеров. Более того, с точки зрения внешнего наблюдателя такая малая масса заключена «внутри» сферы также микроскопических размеров.

Здесь слово «внутри» взято в кавычки потому, что пространственная структура «внутри» такой системы необычна — она характерна для данного типа неевклидовой геометрии. Действительно, если внутри такой Вселенной, исходя из какой-то точки как центра, описывать сферические поверхности, то площадь таких поверхностей при удалении от центра вначале будет возрастать. При каком-то удалении от центра величина площади сферической поверхности может достигать космических размеров и включать внутри себя огромное число галактик. При дальнейшем удалении от центра описываемые сферические поверхности начинают уменьшаться¹⁰.

Замкнутый мир характеризуется тем, что при предельно большом удалении «от центра» обсуждаемые поверхности стягиваются в точку — мир закрывается. «Почти» замкнутый мир отличается от замкнутого мира тем, что предельная сферическая поверхность не стягивается в точку, а представляет собой некую поверхность как угодно малых (в зависимости от величины «почти»), но конечных размеров.

При дальнейшем удалении от центра «почти» замкнутого мира описываемые сферы снова увеличиваются в своих размерах, если эти области пространства не заняты материей. На бесконечности пространство становится, например, евклидовым.

Экспериментатор, находящийся вдали от центра такого мира, воспринимает его как материальный объект, локализованный в области минимальной сферы, как объект ма-

¹⁰ Хотя сферические поверхности при дальнейшем удалении от центра уменьшаются, но все большая и большая часть мира, все большее и большее количество частиц заключается «внутри» этих уменьшающихся сфер. В замкнутом мире Фридмана площадь такой поверхности выражается в виде $S^2 \sim \text{Const} \cdot \sin^2 \chi$. Удаление от «центра» дается величиной χ . При увеличении χ от нуля до $\pi/2$ поверхность возрастает до $S^2 \sim \text{Const}$. При дальнейшем увеличении χ поверхность снова уменьшается и при $\chi \rightarrow \pi$ поверхность стягивается в точку ($S^2 = 0$), и мир закрывается. Величина $S^2 \neq 0$ «почти-замкнутости» мира зависит от конечного значения $\pi - \delta = \chi^0$, где δ может быть конечной, но как угодно малой.

Требование евклидовости на бесконечности здесь также необходимо: вне описываемой частицы могут существовать другие «частицы», другие массы, которые могут также привести к неевклидовой метрике (см. стр. 159 настоящей книги, раздел «Микро — макросимметрическая Вселенная»).

лых масс (если угодно, микроскопических) размеров и обладающий в целом малой (если угодно, микроскопической) массой, хотя внутри этого объекта может содержаться целая Вселенная со своими разнообразными галактиками¹¹. Любопытно, что такой характер системы в целом устанавливается автоматически, если система заряжена, например, электрическим зарядом ([36], с. 674; [37], с. 409; [38], с. 3; [39], р. 109). Как оказывается, в этом случае мир не может быть замкнутым, даже если плотность масс в нем больше критической, тогда как при отсутствии заряда мир обязательно становится замкнутым.

Существенно отметить одно фундаментальное свойство таких миров: если в начальный момент времени возник полузакрытый мир со сколь угодно большим электрическим зарядом, то такая система оказывается неустойчивой — она стремится уменьшить свою полную массу за счет бурного рождения различного рода пар заряженных частиц, уменьшить свой полный электрический заряд и таким образом как угодно полнее замкнуться¹². Система и в этом случае, по-видимому, стремится к некоторой одной и той же предельной системе с полным электрическим зарядом $Z < 137e$ независимо от величины начального электрического заряда, которая может быть сколь угодно большой.

Есть основания думать, что конечное значение заряда может быть близко к заряду элементарной частицы. Такую систему в ее конечном состоянии будем называть *фридмон*. Фридмон с его удивительными свойствами не является, однако, порождением поэтической фантазии — без всяких дополнительных гипотез система уравнений Эйнштейна — Максвелла содержит фридмонные решения.

Не случайно мы подчеркнули фундаментальность обсуждаемых свойств заряженного «почти фридмановского»

¹¹ Для того чтобы наша Вселенная представляла собой в целом некую частицу с микроскопическими параметрами и микроскопической полной массой, необходимо, чтобы средняя плотность вещества в ней была $10^{-29} \text{ gr./cm}^3$. Данные о регистрируемой средней плотности массы в нашей Вселенной пока несколько ниже — примерно $10^{-31} \text{ gr./cm}^3$.

¹² Сильное электрическое поле вблизи границы этой системы вызывает рождение, в частности, электронно-позитронных пар. Если система заряжена электронами, то позитрон рожденной пары, падая на систему, уменьшает ее полный заряд, а электронная компонента рожденной пары отталкивается зарядом системы на бесконечность.

мира: то, что полная масса нейтрального фридмановского мира может быть равной нулю, — это строгий результат теории; то, что полузамкнутый мир обладает конечной, вообще говоря, макроскопической массой, — это строгий результат теории. Утверждение же, что незамкнутость может быть микроскопической и вести к микроскопическому значению полной массы такого мира, естественно, воспринимается как далеко идущая экстраполяция. И «здоровый консерватизм» научного мышления вправе бы отнестись к такому предположению скептически. Однако то обстоятельство, что в заряженном почти фридмановском мире само собой устанавливается фридмановское состояние с действительно микроскопическими значениями заряда, внешних размеров и массы, дает нам право подчеркивать фундаментальный характер этих свойств рассматриваемых систем¹³.

Фундаментальность этих свойств заключается в том, что параметры эти в конечном состоянии системы, как оказывается, одни и те же при самых различных начальных состояниях таких полузамкнутых миров (произвольное число атомов, произвольный начальный электрический заряд).

Это дает возможность обсуждать ансамбли фридмонов как *новый класс рождественных по своим свойствам частиц микромира*¹⁴.

¹³ Для строгости утверждения здесь мы должны сделать оговорку, а именно, что наши рассуждения ведутся в основном в рамках классической, т. е. неквантовой, теории.

Правда, утверждение, что полный конечный заряд фридмонов обладает микроскопическими значениями, что величина заряда может быть и близка к заряду электрона, имеет квантовомеханическое основание.

Что касается микроскопичности значения полной массы, то на основании неквантовой теории мы вправе лишь строго утверждать, что полная масса фридмона меньше, чем 10^{-4} — 10^{-5} г.

Лишь дальнейшие исследования в рамках квантовой теории могут уточнить значение полной массы фридмона.

¹⁴ Строго говоря, мы не можем утверждать, что фридмоны являются действительно новым классом микроскопических частиц, не можем мы также утверждать и то, что известные нам так называемые элементарные частицы не являются фридмонами или какой-то комбинацией фридмонов, если последние могут играть, например, роль так называемых кварков. Возможность для подобных гипотез является пока открытой. Ответы на последние вопросы может дать рассмотрение заряженного, почти замкнутого мира в аппарате квантовой теории. Пока такое исследование не проведено.

Мы видим, что современная физика дает возможность совершенно по-новому трактовать содержание понятия «состоит из...». Вселенная в целом может оказаться микроскопической частицей. Микроскопическая частица может содержать в себе целую Вселенную...

Сама возможность такого объединения противоположных свойств — свойств ультрабольшого и ультрамалого объекта, ультрамакроскопического и ультрамикроскопического представляется не менее удивительной, чем объединение в одном объекте свойств корпускулы и волны.

Трудно представить себе, что такая, правда, пока теоретическая, возможность является случайной.

Естественно предположить, что проблемы Вселенной и проблемы элементарных частиц завязаны в один тугой узел.

Употребляя термин «Вселенная», мы имели в виду вселенную, так сказать, с маленькой буквы: содержание понятия фридмона допускает возможность неограниченного числа таких вселенных. Но в рамках развиваемых соображений возможен и своеобразный вариант Вселенной с большой буквы.

Действительно, если наше скопление галактик, наша Вселенная может оказаться фридмоном, то совокупность подобных фридмонов вместе с другими формами материи вновь может образовать Вселенную и вновь со свойствами фридмона...

Другими словами, двигаясь по этой последовательности все «выше» и «выше»¹⁵, т. е. описывая поверхности, включающие в себя все большее и большее число звеньев этой последовательности, мы можем получить повторяющиеся ситуации, когда полная масса ограниченной таким образом системы будет оказываться близкой к нулю.

¹⁵ Или «ниже» и «ниже» — если хотим быть строго логичными до конца, со всеми вытекающими отсюда последствиями. Другими словами, Вселенная может оказаться в этом смысле симметричной и бесконечной в «обе стороны».

Если сильные взаимодействия ядерных сил могут не оставлять в ряду всех частиц места для какой-то выделенной истинно фундаментальной частицы, то в условиях сильных гравитационных взаимодействий, при осуществлении известных критических плотностей материи может не оказаться выделенного «структурного центра» и в структуре Вселенной в целом: ее структурными элементами могут оказаться вселенные...

Гравитационный дефект масс делает в принципе возможным существование такой модели Вселенной в целом. В такой концепции нет первоматерии и иерархия бесконечно разнообразных форм материи как бы замыкается на себя.

* * *

Современная физика все дальше и дальше отходит от старых механистических метафизических концепций и становится все более и более диалектической.

Стало естественным и обычным понимание соотношения абсолютной и относительной истины, к которому физики шли трудным путем, преодолевая наследие метафизического материализма.

Природа щедро раскрывает перед исследователем все новые и новые неожиданные проявления единства противоположных свойств материального мира. Раскрытие единства волновых и корпускулярных свойств материи, прерывности и непрерывности явилось началом новой эры в физике.

В последнее время все более и более проникает в физику понимание фундаментальной роли всеобщего взаимодействия в установлении взаимных связей единичного и общего.

Согласно современному пониманию структуры элементарных частиц, единичное — данная элементарная частица — мыслима без всех родов элементарных частиц. В конкретной ли форме «бутстрапа» или в какой-то аналогичной форме, но в этом смысле единство отдельного и общего должно неизбежно реализоваться в будущей теории.

Важно, что понимание существования такого единства уже возникло. «Всё» в природе связано со «Всем». И это физически дает бесконечное число разнообразных связей, ведущих к богатству свойств единичного объекта. Можно думать, что со временем возникает понимание единства элементарной частицы и Вселенной, ультрабольшого и ультрамалого. Будет ли это единство раскрыто в теории, подобной теории фридмонов, или на каком-то другом пути, но сама тенденция соответствует духу материалистической диалектики.

Еще раз хочется подчеркнуть, что от древнейших времен до настоящего времени существуют две альтернатив-

ные концепции о природе материи. Одна из них связана с верой в существование бесконечной иерархии форм материи. Сторонники этой концепции, говоря языком Лукреция, «никогда никакой границы дроблению не ставят». А другая концепция связана с верой в существование предела «дробления» в виде абсолютных атомов или с более общим утверждением о возможном существовании некоей первоматерии. Теперь удается сформулировать совершенно новую, третью концепцию, не сводящуюся ни к одной из двух. Как и предыдущие, третья концепция лежит также в области веры (гипотезы), но она также логически допустима, как и те две. Известное преимущество второй и третьей концепции перед первой заключается в возможности (в конце концов) их экспериментальной проверки.

В изложении проблем первоматерии речь идет также о некотором новом, в принципе возможном физическом объекте — электрически заряженном объекте с полужамкнутой метрикой. Само по себе существование подобных массивных и заряженных относительно большим электрическим зарядом объектов не может вызывать каких-либо возражений. Такая возможность допускается решениями уравнений общей теории относительности. Но нами часто подчеркивается одна особенность таких объектов, которая трактуется как имеющая фундаментальное значение в проблеме материи.

Это то свойство рассматриваемых объектов, в результате которого они, если даже и возникли первоначально с различными как угодно большими начальными зарядами, быстро теряют свой заряд и полную массу в процессе образования электронно-позитронных пар, превращаясь независимо от первоначальных как угодно произвольных значений зарядов в конечные, тождественные между собой микроскопические образования — фридмоны с зарядом порядка 1 и с массой $\sim 10^{-5}$ gr. Этот возможный своеобразный механизм образования идентичных микроскопических объектов из объектов, вначале макроскопических, вызвал настолько большие симпатии автора, что он возвращался к нему во многих своих статьях неоднократно ([36], [37], [38], [39]).

Было сделано обобщение, правда гипотетическое, недокладательное, о возможности существования фридмонов и с другими, неэлектрическими зарядами. Имеются в

виду заряды различных мезонных полей. Но несколько лет спустя возможности электромагнитного процесса образования нового класса идентичных частиц, казалось, был нанесен жестокий удар работами Руффини [40] и Хокинга ([41], р. 344).

Теорема Руффини и Хокинга в упрощенном изложении утверждает, что масса данного объекта, о котором шла речь (типа фридмона, который в сущности эквивалентен так называемой черной дыре), может только возрастать и никогда не может уменьшаться. Эта теорема имеет силу и для нашего заряженного объекта. Казалось бы, идея, столь привлекательной, этим самым был нанесен смертельный удар. Но дальнейшие размышления на эту тему привели к выводу, что теорема Хокинга справедлива в классической (неквантовой) физике, тогда как явление рождения электронно-позитронных пар — это чисто квантовое явление. Более того, далее удалось представить себе наглядную картину квантового нарушения теоремы Хокинга¹⁶. Изложение этой возможности дано в докладе на коперниканских торжествах в Варшаве (1973 г.). Доклад этот позже был напечатан в трудах Варшавского симпозиума ([42], р. 106—131). К идее о неизбежности более общего квантового распада черных дыр пришел и сам Хокинг ([43], р. 30)¹⁷.

Возможность фридмонов, заряженных мезонным зарядом, неожиданным образом также подверглась «смертельной опасности». Действительно, согласно утверждению Уилера [44], при образовании объектов, подобных рассматриваемым нами (возникновение черных дыр в результате коллапса), вне их (этих объектов) должны исчезать все поля, кроме электромагнитных и гравитационных. Согласно этой точке зрения, источники (заряды) раз-

личных мезонных полей как бы «захороняются» под сферой Шварцшильда без всякой возможности для их внешнего проявления. Это обстоятельство Уилер образно формулирует фразой: «Черные дыры не имеют волос». Правда, в некоторых случаях можно было критиковать математическую строгость многочисленных исследований по этой проблеме. Критика эта излагалась в ряде работ ([45], с. 3; [42]). Но многочисленность работ, утверждающих «отсутствие волос» у черных дыр, создали уже такое научное общественное мнение, что критика этих работ в общем звучала как «глас вопиющего в пустыне». Видимо, просто считалось, что те некорректности, на которые указывалось, могут быть преодолены при дальнейших исследованиях, т. е. опять-таки речь идет о той же агрессивности новых идей, в известном смысле преуспевающих, т. е. приемлемых в большом кругу исследователей. Не исключено, что эти идеи в дальнейшем окажутся действительно вполне корректно обоснованными. Но в последнее время эти идеи (захоронение барионов, но не нарушение закона сохранения барионного заряда и отсутствие соответствующих «волос») привели к существенному затруднению.

Действительно, при излучении энергии черными дырами (по Хокингу), при уменьшении масс и возможном полном исчезновении черных дыр должен нарушаться закон сохранения мезонного (вернее, барионного) заряда, что считается пока нежелательным. Таким образом, дальнейшая судьба идеи отсутствия «волос» у черных дыр, т. е. обсуждаемых нами объектов, может оказаться под вопросом. Возможно также, что для мезонных фридмонов как квантовых объектов столь малых масс закон Уилера об отсутствии «волос» вообще «неписан».

С самого начала возникновения идей возможного существования такого рода микроскопических объектов (максимонов, 1965 г.) явилась соблазнительной и идея рассмотреть возможности использования подобных частиц в качестве структурных элементов, например, адронов. Другими словами, — возложить на эти частицы роль, подобную роли кварков и глюонов. Здесь мы не собираемся строить конкретную модель адронов, состоящих из частиц такого рода. Мы лишь обращаем внимание на то обстоятельство, что в ряде работ, посвященных кварковой структуре адронов, предполагаются кварки как угодно тяжелых, до бесконечно тяжелых масс включительно. Мы лишь хотели

¹⁶ Речь идет о таком возможном рождении электронно-позитронных пар, когда компоненты пары находятся по разные стороны от так называемой поверхности Шварцшильда, уменьшая таким образом внутренний заряд объекта и его массу.

¹⁷ Приводит ли хоккингское излучение к полному исчезновению черных дыр или же в области максимальных масс и длин вступают в игру квантовые закономерности (например, так называемые флуктуации метрики или нулевые колебания материи, заключенной в столь малом объеме), которые делают эти конечные состояния (максимонов) устойчивыми? Это фундаментальный и пока не решенный вопрос квантовой теории гравитационного поля (см. приложение Б).

привлечь внимание соответствующих авторов (если исследования в этом направлении будут продолжены), указав, что на «пути» к бесконечно тяжелым структурным объектам имеются «заранее заготовленные», возможно, реально существующие объекты. Эти объекты по сравнению с известными элементарными частицами имеют массу, на много порядков большую. С другой стороны, эти объекты являются действительно микрочастицами, так как в пространственном смысле они значительно (на много порядков) меньше тех размеров, которые обычно фигурируют при обсуждении экспериментов о рассеянии лептонов на адронах. Более того, как следует из дальнейшего, число максимонов различной природы можно значительно увеличить, рассматривая, кроме нестатической, и статические метрики при описании частиц в общей теории относительности.

О КВАРКАХ, ПАРТОНАХ И ВОЗМОЖНОМ ГЛОБАЛЬНОМ БУТСТРАПЕ *

Используя значения зарядов различных векторных полей (e — электрический заряд, g_v, g_a, g_s — специфические заряды ρ, φ, ω — мезонных полей), гравитационной константы κ , постоянной Планка \hbar , постоянной скорости света c , можно образовать ряд величин размерностью масс вблизи значений $10^{-5} - 10^{-6} \text{ гр.}$ ($e/\sqrt{\kappa} \sim 10^{-6} \text{ гр.}$, $g_s/\sqrt{\kappa} \sim 10^{-5} \text{ гр.}$, $\sqrt{\hbar c/\kappa} \sim 10^{-5} \text{ гр.}$).

Соответствующая этим массам группа частиц («максимоны») естественно интерпретируется в рамках общей теории относительности либо как элементарные черные дыры размерами $r_0 \sim 10^{-32} - 10^{-33} \text{ см.}$ («фридманы» — с внутренней нестатической метрикой типа метрики Фридмана, «керроны» — если объекты обладают спином), либо как объекты с внутренней статической метрикой, описываемой моделью Папанетру («папанетроны»). В известных моделях адронов, допускающих как угодно тяжелые кварки, должно приниматься во внимание возможное существование в природе (стабильных или нестабильных) частиц из группы максимонов.

В ряде работ высказаны соображения в пользу того, что, во всяком случае теоретически, адроны можно строить из каких-то более элементарных, но очень тяжелых частиц, в пределе даже частиц бесконечно тяжелых масс (см. [46], р. 2973; [47], р. 2104; [48], р. 1785).

Оставляя в стороне обсуждение формализма предложенных теорий, хотелось бы назвать ряд кандидатов на роль таких частиц больших, но конечных масс, а главное, очень малых размеров.

Известная привлекательность этих объектов заключается в том, что они не выдумываются специально, а описываются известными решениями в рамках общей теории относительности. Важным обстоятельством является то, что объекты, о которых будет речь ниже, в принципе мо-

* Доклад на московском семинаре, посвященном кваркам и партонам. 25—28 июля 1974 г.

гут существовать в природе¹ независимо от того, образуют ли эти частицы адроны, или эти частицы не имеют никакого отношения к данной проблеме. Имеется ряд констант, характеризующих заряды известных векторных нейтральных полей:

e — электрический заряд, g_p — заряд векторного поля p -мезонов, g_ω — заряд векторного поля ω -мезонов, \hbar — постоянная Планка, c — скорость света.

Имея в виду гравитационную константу κ , можно построить следующие значения масс:

$$1. m_e = \frac{c}{\sqrt{\kappa}} \sim 10_{gr}^{-6}$$

$$2. m_{g_p} = \frac{g_p}{\sqrt{\kappa}} \sim 10_{gr}^{-5}$$

$$3. m_{g_\omega} = \frac{g_\omega}{\sqrt{\kappa}} \sim 10_{gr}^{-5}$$

$$4. m_\omega = \frac{g_\omega}{\sqrt{\kappa}} \sim 10_{gr}^{-5}$$

$$5. m_h = \sqrt{\frac{\hbar c}{\kappa}} \sim 10_{gr}^{-5}$$

m_h — известная в литературе Планковская масса.

Не исключено, что перечисленные массы представляют собой верхние границы возможных микрочастиц. В статьях [34], [49] вся группа подобных частиц объединена общим термином («максимоны», т. е. возможные «элементарные» частицы максимально больших масс.

Любопытно, что все массы максимонов группируются в области 10^{-6} — 10^{-5}_{gr} , хотя несколько различаются численно значениями констант специфических зарядов.

Представляется существенным, что максимоны являются естественными объектами общей теории относительности. Первая из этих частиц может реализоваться в природе как электрически заряженная черная дыра предельно малых размеров [38] с внешней пордстрем-рейс-

сферической метрикой. Другими словами, это элементарная электрически заряженная черная дыра².

Внутреннюю область этого объекта можно описать следующим образом: если закрытый мир Фридмана, который по определению электрически нейтрален и благодаря огромному гравитационному дефекту масс обладает полной массой, равной нулю, «испортить» введением единственного электрона (вернее, одного электрического заряда), то мир окажется раскрытым [38] с размерами для внешнего наблюдателя

$$r_0^e \sim 10^{-33} \text{ см}.$$

и полной массой

$$m_e = \frac{e}{\sqrt{\kappa}} \sim 10_{gr}^{-6}.$$

Обращает на себя внимание, что результат этот (величина «радиуса», значение полной массы) не зависит от того, сколько, например, пуклонов и других частиц в целом электрически нейтральной материи содержится внутри такой системы, и, скажем, даже не боясь на первый взгляд парадоксальности подобного утверждения, не зависит от того, сколько галактик и какие возможные цивилизации существуют на небесных телах внутри этой системы. Для внешнего наблюдателя все эти различия во внутренней структуре подобных систем не существуют. Несмотря на возможные в этом смысле внутренние различия в таких системах, для внешнего наблюдателя все эти системы идентичны, ибо объекты эти для него характеризуются только полной массой и полным электрическим зарядом. Все внутренние различия в этих системах скрыты для внешнего наблюдателя за сферой Шварцшильда. Внутренняя область системы за исключением малой области вблизи самой ее границы может описываться метрикой Фридмана [38]. Такой объект был назван фридмоном [39]. При заряде $e \rightarrow 0$ система превращается в закрытый мир

¹ Являются ли они стабильными в свободном состоянии при учете квантовых эффектов или нестабильными, этот вопрос в данном случае не является существенным.

² Подобные состояния должны учитываться в промежуточных состояниях при вычислении, например, собственной энергии элементарных частиц, так как в этих случаях масса промежуточного состояния локализована в соответствии с соотношением неопределенностей Гейзенберга в области меньшей, чем размеры сферы Шварцшильда.

Фридмана. Спин этого объекта равен нулю. Другой тип элементарной черной дыры можно построить, используя метрику Керра. В списке максимонов такой частицей могла бы быть частица с массой $m_h = \sqrt{\frac{\hbar c}{\kappa}}$.

В принципе эта электрически нейтральная частица, обладающая спином (минимальный спин, естественно, равен $\hbar/2$), могла бы нести и электрический заряд (e). В последнем случае масса ее будет несколько больше $m_h^i \sim \sqrt{\frac{\hbar c + e^2}{\kappa}}$. Размеры $r_h^i \sim \frac{\sqrt{\hbar c} \sqrt{\kappa}}{c^2} \sim 10^{-33} \text{ см}$, если $e < \sqrt{\hbar c}$.

Существование этой частицы с массой $\sim \sqrt{\hbar c/\kappa}$ (планковской массой) обсуждалось в различных аспектах рядом авторов ([34], [49], [50], [51], [52], [53]) и давали ей различное название, но естественнее всего массу этого максимона называть просто планковской массой, а если эти частицы наделить спином, отличным от нуля, и внешнюю метрику идентифицировать с метрикой Керра, то эту частицу можно было бы назвать керроном. Подобные частицы следует, с одной стороны, считать объектом микромира, особенно если они могут рассматриваться как кандидаты на структурные частицы, составляющие адроны. Но, с другой стороны, эти частицы сами состоят из адронов.

Возникает, таким образом, своеобразный, будем его называть, «обобщенный, или глобальный» бутстрап, который естественным образом лишает смысла идею «истинно элементарных частиц» и мечты о таковых. По мнению автора, в этом и заключается привлекательная черта излагаемой модели ([54], с. 66).

Для источников векторных полей могут реализовать системы тех же масс (например, $m_e = e/\sqrt{\kappa}$) с той же внешней метрикой, но в отличие от предыдущего примера со статической внутренней метрикой ([55], с. 41). Речь идет об известной модели Папанетру, внешняя метрика которой рассмотрена им еще в 1947 г. ([56], р. 191). Модель Папанетру классически можно интерпретировать как систему, в которой гравитационное притяжение уравновешивается силами, например, электростатического отталкивания:

$$\kappa \frac{m_e^2}{r} = \frac{e^2}{r},$$

откуда непосредственно следует:

$$m_e = \frac{e}{\sqrt{\kappa}}.$$

Система Папанетру не является черной дырой. Сшивание соответствующих внешних (в пустоте) решений и решений внутренних (в области, занятой материей) приводит к тому, что все вещество здесь не локализовано под сферой Шварцшильда, но оно может практически как угодно близко стягиваться к этой сфере извне [55].

Таким образом, составленную частицу можно было бы назвать, скажем, «папанетроном». Внутри папанетронов не может быть и в принципе никаких космологических объектов, в отличие от фридмонов и керронов. Здесь нет внутреннего грандиозного гравитационного дефекта масс³, но число нуклонов, способных образовать электростатический папанетрон, все-таки велико: $n \sim m_e/m_n \sim 10^{18}$. В этом смысле идея глобального бутстрапа сохраняется и в том случае, если структурными элементами адронов окажутся папанетроны.

Последние замечания представляют интерес в том смысле, что согласно ряду известных теорем, во всяком случае, макроскопические черные дыры не могут иметь внешних (мезонных, нейтринных и других полей) за исключением электромагнитных и гравитационных ([44], [57], р. 949, [58], р. 326, 397; [59], р. 2938).

Возможно, что только частицы типа $m_e = \frac{e}{\sqrt{\kappa}}$ и $m_h = \sqrt{\frac{\hbar c + e^2}{\kappa}}$ могут моделироваться черными дырами.

Правда, есть соображения о том, что последние замечания (отсутствие «волос» у черных дыр) могут быть неверными для максимонов, ибо максимоны в сущности являются объектами не классической, а квантовой физики. Но, во всяком случае, частицы типа папанетронов $m_{e\phi}$, $m_{e\omega}$ могли бы существовать в природе. Максимальные размеры данного ряда папанетронов определяются радиусом действия соответствующих сил, т. е. массами ρ , ϕ , ω -мезонов. $r_{\text{max}} \sim 10^{13}$ см. Минимальные размеры папанетронов близ-

³ Если проблему рассматривать классически. В квантовом же рассмотрении необходимо учитывать нулевые колебания данной среды и соответствующую добавочную энергию и ее дефект масс (см. приложение В).

ки к их гравитационным радиусам:

$$r_{\min} \sim \frac{\varepsilon_x V \kappa}{c^2} \sim 10^{-23} \text{ см.}$$

Если рассматривать модель папаетрона классически, то равенство гравитационных сил притяжения и векторных сил отталкивания может, в принципе, осуществляться, грубо говоря, при любых размерах системы от r_{\min} до r_{\max} . Можно высказать предположение, что в связанном состоянии размеры папаетронов минимальны, так как в этом случае гравитационный дефект масс системы максимальный: т. е. система находится на наименьшем энергетическом уровне. Другими словами, можно высказать предположение, что размеры всего ряда максимонов в системах близки к их гравитационному радиусу. Если осмелиться рассмотреть полуклассически систему, состоящую из двух максимонов (например, $m_h \sim \sqrt{\hbar c / \kappa}$), оценивать радиус (радиус Бора) системы согласно соотношению Гейзенберга, то возникает радиус Бора для нижнего состояния в виде ([34], [49]):

$$r_b \sim \frac{\hbar^2}{m_h^2 \kappa} = \frac{V \hbar c V \kappa}{c^2} \sim r_h \sim \frac{m_h \kappa}{c^2},$$

т. е. оказывается равным тому же гравитационному радиусу максимона.

Если осмелиться подсчитать классически гравитационный дефект масс таких систем, то он оказывается порядка полной массы составляющих систему частиц [34]

$$\Delta m \sim \kappa \frac{m_h^2}{r_h c^2} \sim m_h.$$

Естественно, что все эти оценки незаконны — они слишком классичны, но они могут иметь некую эвристическую ценность.

Дело в том, что во многих конкретных кварковых или партонных моделях адронов требуется (в случае больших масс кварков) новый класс полей, новый класс взаимодействий между этими частицами, приводящий к необходимому в этих моделях дефекту масс данных систем. Было бы большим преимуществом теории, если бы для этой цели были использованы существующие в природе, в частности гравитационные, силы. Список папаетронов (и мак-

симонов) можно увеличить, придавая всем или некоторым из них элементарные вращательные моменты (спин).

К сожалению, эти рассуждения носят пока в существенной части чисто платонический характер, так как речь идет о таких пространственных размерах частиц (10^{-23} см.), для которых существенна квантовая флуктуация метрики ([60], р. 215, [61], р. 382). Мы не знаем, например, в какой мере макроскопические характеристики черных дыр нарушатся квантовыми эффектами ([42], [43]). Свойства черных дыр рассматриваемых размеров (элементарные черные дыры) могут существенно модифицироваться квантовыми эффектами.

Обсуждаемые частицы можно было бы разнообразить и введением других специфических зарядов. Очень существенная роль может быть отведена специфическим зарядам — источникам скалярного мезонного поля, которые дают силы притяжения. При большой константе G скалярного мезонного поля эти поля могут играть на малых расстояниях роль, аналогичную сильной гравитации.

В этом случае массы максимонов могли бы быть существенно меньше (в принципе как угодно малыми), именно ([62], с. 417):

$$m_m \sim \sqrt{\frac{\hbar c - G^2}{\kappa}} \sim \sqrt{\frac{\varepsilon_x^2 - G^2}{\kappa}},$$

и зависит от значения специфического заряда G — источника скалярного поля.

Последние замечания представляют интерес в связи с развивающимися представлениями о возможной единой теории слабых и электромагнитных взаимодействий, в некоторых вариантах которых существенную, но пока подсобную роль играют гипотетические скалярные мезоны.

В настоящее время возникла обширная литература, посвященная различным вариантам кварково-партонных моделей адронов. Как и во всякой широко разветвленной деятельности, согласно известным законам Паркинсона, возникает и обширная деятельность, теоретически обслуживающая именно саму эту деятельность. Здесь имеется в виду, что в различных вариантах теории (которые, конечно, не все должны реализоваться в природе) возникают свои трудности, которые с большим упорством, а иногда и остроумием, более или менее успешно преодолеваются.

Уже известно огромное число различных моделей и возникающие в них свои трудности.

В реалистических моделях возникают трудности, связанные с отсутствием в природе и в эксперименте свободных кварков. Эта проблема существенно решается возможной большой массой кварков. Возникают трудности со статистикой Ферми, появляется необходимость либо введения парастатистики, либо увеличения числа кварков (введения цветных кварков) и т. д.

Здесь хотелось бы сделать одно общее замечание. Модели, о которых идет речь, описываются в рамках формализма квантовой теории, где, в частности, сохранено обычное пространственно-временное описание. Если речь идет об объектах типа максимонов, о пространственных областях, где существенна квантовая флуктуация метрики, то вряд ли здесь можно требовать строгого выполнения принципа Паули. И вообще, обычное квантовомеханическое описание подобных моделей может оказаться незаконным и весь формализм теории должен соответственно модифицироваться.

* * *

Следующие страницы во многом повторяют содержание статьи «о понятии первоматерии». Но следуя характеру составления книги, мы оставляем статью в том виде, в котором она появилась в печати. При таком составлении книги имеются и некоторые преимущества: статью можно читать, не обращаясь к другим разделам книги. Конечно, рассматриваемый вариант вселенной мы отнюдь не предлагаем как наиболее вероятный, он среди других логически мыслим и только⁴. Но обсуждение этого варианта вселенной раскрывает полнее содержание понятия фридмана и задерживает внимание на некоторых свойствах этого объекта, т. е. имеет и чисто педагогическую ценность. Автору также кажется, что описываемая картина Вселенной имеет некоторый литературный интерес, относящийся к области чисто литературной, в существенной части пока научной фантастики.

⁴ «Вещи есть также еще, для каких не одну нам, а много Можно причин привести, но одна лишь является верной» (Дукреци. [6], с. 407).

МАКРО-МИКРОСИММЕТРИЧЕСКАЯ ВСЕЛЕННАЯ *

Человка всегда интересовал мир в «огромном целом» — Вселенная. Опыт человека и даже Человечества ограничен во времени и пространстве, поэтому представление о мире в целом всегда являлось и является экстраполяционным представлением. Эта экстраполяция в стремлении найти обоснованное в какой-то мере суждение о мире «в целом» всегда была направлена, коротко говоря, «от меньшего к большему». В этом смысле можно говорить о «стреле» исследований, направленной на постижение характерных свойств Мира как целого. Действительно, двигаясь в своем исследовании окружающего нас Мира от «меньшего к большему» — от исследования земных расстояний к межпланетным, к межзвездным и далее, мы поразительно многое узнали о существенной части Вселенной.

Но, спрашивается, единственный ли это путь исследования Вселенной?

В дальнейшем речь пойдет о том, как этот путь исследования от «меньшего к большему» может действительно оказаться не единственно мыслимым путем познания Вселенной, именно Вселенной как «Мира в целом».

Во всяком случае, в рамках современных представлений о геометрических свойствах пространств, определенных распределением плотности вещества, могут оказаться ситуации, когда исследование «от меньшего к большему» может неожиданно привести снова к «меньшему», к расстояниям и закономерностям микромира.

А исследование «от большего к меньшему», от макромира к объектам микромира может снова привести к «большим», к огромным, ультрамакроскопическим размерам, снова привести к мирам макроскопических явлений.

В этом, казалось бы, парадоксальном утверждении, как мы увидим ниже, нет никакого парадокса, оно даже не является следствием каких-либо экстравагантных гипотез, изменяющих природу физических законов, установленных, или скажем осторожнее, пока общепринятых в науке. Можно напомнить, что мечтатели, поэты с давних пор в своих фантазиях пытались в разных формах воспроизводить повторяемость явлений макрокосмоса в поэтическом микромире.

* Сб. «Будущее науки». М., 1973.

Эти поэтические картины рисовались и в глубокой древности последователями Будды, и поэтами недавнего прошлого. Совсем относительно недавно В. Брюсов в своем стихотворении «Электрон» также коснулся этой темы:

Быть может эти электроны —
Миры, где пять материков,
Искусство, ананья, войны, троны
И память сорока веков!

Еще быть может каждый атом —
Вселенная, где сто планет,
Там все, что здесь в объеме сжатом,
Но также то, чего здесь нет.

Впрочем, как это часто бывает, реальность, действительность оказывается богаче поэтической фантазии.

И та картина, возможность которой возникает на основе строгих теорий, выглядит в этом смысле более фантастичной, более богатой и разнообразной по своему содержанию.

Дело в том, что согласно общей теории относительности в физическом мире реализуются неевклидовы геометрии. И вот эти новые возможности, неизвестные мечтателям прошлого времени, естественно, отсутствуют и в поэтических фантазиях.

В настоящее время, именно после Эйнштейна (1916 г.), возникло понимание того, что геометрические свойства пространства реального мира существенным образом определяются распределением материи; что отношение длины окружности, например к радиусу в реальном пространстве, не является данной а priori. В реальной физической системе это отношение зависит от плотности вещества в данной системе. После Фридмана (1922 г.) возникло понимание и того, что сами длины, отрезки линий, радиусы, физические «линейки» могут оказаться непостоянными во времени: они могут со временем, например, увеличиваться или уменьшаться. Как известно, есть серьезные основания полагать, что в нашем реальном мире в настоящее время происходит удлинение «линеек». Это удлинение линеек пропорционально их длине и заметно лишь на очень больших расстояниях, где оно наблюдается как радиальное движение отдаленных звезд. Или, что то же — согласно этим экспериментальным данным Вселенная наша нестатична, т. е. ее пространство неста-

тично, оно расширяется с некоторой скоростью, зависящей от расстояния.

Не исключено также, что Вселенная наша имеет конечные размеры, что пространство наше, отмеряемое от заданной точки, имеет конечный радиус. Не исключено также, что в известном смысле оно замкнуто или почти замкнуто¹, что и процесс расширения Вселенной ограничен некоторым ее максимальным радиусом² a_0 . Это a_0 — радиус мира полностью определяется количеством материи массой (M_0), содержащейся во всей Вселенной:

$$a_0 = \frac{2\kappa M_0}{3\pi c^2}, \quad (1)$$

где κ — гравитационная константа, c — скорость света.

Для дальнейшего необходимо сказать несколько слов о понятии замкнутости пространства.

Пусть какая-то материальная система в данный момент характеризуется плотностью вещества, одной и той же по своему значению во всех точках системы. Если плотность вещества достаточно большая, то согласно общей теории относительности могут существенно измениться геометрические свойства пространства. Упомянутое выше отношение длины окружности к радиусу может, например, начиная с некоторого значения, уменьшаться с ростом радиуса, которым описана эта окружность.

А в пределе при некотором радиусе r_0 это отношение может оказаться равным нулю. Именно такая ситуация возникает в закрытом пространстве, например Эйнштейна или Фридмана.

Повторим описание обсуждаемой ситуации не в плоскости, а в трехмерном пространстве. Выбирая произвольную точку в данном пространстве, заполненном веществом, мы описываем вокруг этой точки сферы со все возрастающим радиусом, каждый раз измеряя всю поверхность данной сферы.

¹ Говорят также в этом случае: «метрика» пространства является закрытой.

² В закрытой метрике Фридмана радиус мира зависит от некоторого параметра η в виде $a = a_0 (1 - \cos \eta)$, а параметр η , в свою очередь, просто связан с временем τ

$$\tau = \frac{a_0}{c} (\eta - \sin \eta).$$

Если плотность вещества достаточно велика, мы можем обнаружить такую закономерность: вначале с ростом радиуса поверхность сферы возрастает, но затем после некоторого значения радиуса поверхность сферы начинает непрерывно уменьшаться³.

Здесь мы вступаем в конфликт с наглядным привычным представлением, основанным на нашей практике. Непривычным оказывается то, что с увеличением радиуса сферы мы заключаем в описываемую сферу все большее и большее количество атомов вещества, а поверхность сферы, внутри которой находится это вещество, с ростом радиуса уменьшается. Более того, при некотором предельном радиусе r_0 вся поверхность сферы может стянуться в точку — другими словами, как говорят, пространство данной системы замыкается.

Таким образом, можно очень грубо изобразить свойства пространства закрытого мира. В настоящее время обычно обсуждаются нестатические закрытые миры. Такой сферический мир способен расширяться до размеров некоторого радиуса a_0 , даваемого формулой (1). Минимальная плотность вещества в этот момент мгновенного покоя материи дается выражением:

$$\rho_{\min} \approx \frac{c^3}{\chi^3 M_0^2} \quad (3)$$

Хотелось бы подчеркнуть то очень важное обстоятельство, что закрытый мир в принципе может образоваться любых малых размеров (любых $a_0 = a_{\max}$) из вещества любой малой массы M_0 . Но необходимая однородная плотность материи должна в момент максимального расширения объекта удовлетворять соотношению (3).

Если, например, массу вещества, равную массе Галактики ($M_0 \sim 10^{44}$ gr.), замкнуть в такой мир Фридмана, то этот мир согласно (1) имел бы максимальные размеры

³ Математический радиус в таком пространстве задается, например, величиной $r = a_0 \chi$, где χ меняется от нуля до π , а поверхность, описываемая этим радиусом, задается выражением $S = a_0^2 \sin^2 \chi$. (2)

Из этой формулы видно, что с ростом радиуса, при изменении χ от нуля до $\pi/2$, поверхность растёт от 0 до $S = a_0^2$, но при дальнейшем увеличении радиуса (роста χ от $\pi/2$ к π) поверхность сферы начинает уменьшаться и при $\chi = \pi$ (т. е. $\sin \pi = 0$) поверхность S стягивается в точку [54].

$$a_{\max} \sim 10^{16} \text{ km}$$

и минимальную плотность

$$\rho_{\min} \sim 10^{-4} \text{ gr./cm}^3.$$

Переходя к большим плотностям (ρ_{\min}), можно ограничиться меньшими массами M_0 для образования соответствующего закрытого объекта.

Для массы, равной Солнечной ($M_0 \sim 10^{33}$ gr.), максимальные размеры закрытого мира становятся порядка одного километра, а плотность — близкой к ядерной:

$$\rho_{\min} \sim 10^{18} \text{ gr./cm}^3.$$

Если отважиться и взять массу $M_0 \sim 10^{-5}$ gr.⁴, то соответствующий «радиус мира» для данной замкнутой системы возникает в виде известной со времен Планка комбинации констант размерностью длины⁵.

$$a_{\max} \sim \sqrt{\frac{\hbar c}{e^2}} \sim 10^{-33} \text{ cm}.$$

Одно из характерных свойств закрытых систем заключается в том, что полная масса закрытого мира (или полная энергия) неизбежно равна нулю.

Это свойство системы интерпретируется таким образом, что гравитационное притяжение, которое действует между частицами, уменьшает полную энергию системы до такой степени, что она оказывается в точности равна нулю⁶. Или, что то же, оказывается равной нулю полная масса системы. И это при наличии огромного числа атомов в ней.

Если какой-либо сферической поверхностью вырезать часть закрытого мира, если, другими словами, описать вокруг какой-то точки сферу радиусом $r_0 \sim a_0 \chi_0$ и удалить всю

⁴ Это значение массы любопытно тем, что его можно построить из мировых констант

$$\sqrt{\frac{\hbar c}{\kappa}} \sim 10^{-5} \text{ gr.}, \quad \hbar - \text{постоянная Планка.}$$

⁵ Но при таких малых параметрах мы вступаем в пока не исследованную область квантовой гравитации.

⁶ Т. е. в момент покоя всех частиц полная энергия системы равна энергии покоя всех частиц (Nmc^2) минус энергия гравитационного взаимодействия всех частиц друг с другом — $\chi m_i m_j / r_{ij}$. В закрытом мире полная энергия системы равна нулю.

материю за пределами этой сферы, т. е. в области больших r , то оказывается, что в этом случае полная масса вещества внутри сферы отлична от нуля. Более того, при χ от нуля до $\chi = \pi/2$ полная масса непрерывно возрастает, но при радиусах $r = a_0 \chi_0$, где $\chi_0 > \pi/2$, полная масса начинает уменьшаться. И когда берется все пространство системы ($\chi = \pi$), полная масса обращается в нуль⁷.

Но здесь мы подходим к изложению одной из удивительных возможностей, реализация которой не может не поражать наше воображение.

Действительно, если в рассматриваемой системе взять χ_0 близким к π (т. е. $\chi_0 = \pi - \delta$, где δ — очень мало), то полная масса системы может быть как угодно близка к нулю, она может быть в принципе равна, например, массе какой-либо элементарной частицы, например, массе нейтрона. А внешняя сфера, которая окружает систему (согласно формуле (2)), при малости δ может иметь также соответствующие микроскопические размеры.

Таким образом, наблюдателю, находящемуся вне рассматриваемой сферы, система представляется микроскопической массой и макроскопических размеров.

Но эта картина не зависит от того, сколько вещества находится внутри этой малой поверхности. Ведь если бы удалось проникнуть внутрь малой сферы и двигаться к ее центру от $\chi = \pi - \delta$ к $\chi = \pi/2$, то соответствующие сферы быстро бы увеличивались в своих размерах. Размеры быстро стали бы макроскопическими, а затем ультрамикроскопическими. Мы могли бы встречать на своем пути звезды, галактики, небесные тела с организованной жизнью, если угодно и цивилизации... И все это заключено во внешнюю сферу микроскопических размеров.

Правда, рассмотренный пример оставляет некое подозрение в его искусственности — операция вырезания из закрытого мира какой-то его части — это, конечно, в принципе мысленный эксперимент. Но почему такие почти замкнутые миры, будем говорить осторожнее — системы,⁸ обязательно должны реализоваться в природе?

⁷ Полная масса вещества внутри сферы радиуса $r_0 = a_0 \chi_0$ равна $M_{tot} = \frac{4}{3} \pi \mu a_0^3 \sin^3 \chi_0$, μ — плотность вещества в этот момент.

⁸ «Будем говорить осторожнее — системы...» Дело в том, что рассмотрение закрытой метрики обычно ведется в применении ко Вселенной в целом.

В данном случае природа удивительным образом идет навстречу этим поразительным возможностям. Кроме равенства нулю полной массы закрытого мира, как оказывается, должен быть равен нулю его полный электрический заряд.

Если, например, мы приготовили какую-то систему, которая по своим параметрам должна была бы иметь закрытую метрику и если эту систему «подпортить» внесением электрического заряда, то система «откажется» быть закрытой. Это значит, что, описывая сферические поверхности вокруг «центра» системы, мы бы имели вначале с ростом радиуса знакомую нам картину, т. е. вначале поверхности сфер увеличивались бы, как и раньше, до $\chi = \pi/2$, затем, если электрический заряд не очень большой, как и раньше, поверхности этих сфер соответственно уменьшились бы. Но в отличие от случая незаряженной системы уменьшение сфер не идет безгранично — оно останавливается на какой-то минимальной сфере (горловине), а затем, с ростом радиуса поверхности начинают снова возрастать. На больших радиусах геометрия становится евклидовой, и поверхность сферы как угодно приближается к численному выражению, даваемому привычной формулой

$$S = 4\pi r^2.$$

Наблюдатель, находящийся в области этих больших r , на относительно больших расстояниях от системы «видит» ее в виде объекта, максимальные размеры которого характеризуются минимальной сферой.

Естественно, что величина этой минимальной сферы зависит от величины полного электрического заряда системы.

Расчеты дают для радиуса этой минимальной сферы (горловины) выражение $r_h = \frac{\epsilon \sqrt{Q}}{c^2}$, где ϵ — полный электрический заряд системы. Но самое поразительное, что природа еще дальше идет навстречу обсуждаемым возможностям. Именно оказывается, что в этом случае возникает такая ситуация, при которой система автоматически стремится уменьшить свой полный электрический заряд до некоторого минимального заряда за счет своеобразного зарядового излучения.

Как оказывается, в области вблизи минимальной сферы возникает предельно большое электростатическое по-

ле⁹, способное в пустоте порождать электропозитронные пары. Если система, например, вначале была заряжена отрицательным зарядом, то позитрон рожденной пары будет падать на систему, уменьшая ее полный заряд, а электрон пары излучится, уйдет в пределе на бесконечно большое расстояние от системы.

Оценки показывают, что этот процесс уменьшения полного заряда системы идет при любом начальном заряде до одного и того же конечного значения заряда [38] $Z_f < 137 e$, очень возможно близкого или даже равного e — одному заряду электрона. Полная масса всей системы в этом конечном состоянии оказывается равной $m_f \sim e/\sqrt{\kappa} \sim 10^{-6} \text{ gr.}$, а размеры системы для внешнего наблюдателя (горловинная сфера) $r_h \sim 10^{-83} \text{ см.}$

Не будет назойливым напомнить, что «внутри» этого микроскопического объекта могут находиться звездные системы, галактики, цивилизации...

Подобные объекты были названы фридмонами: их метрика становится метрикой закрытого мира Фридмана при заряде, стремящемся к нулю. Пока не исключено, что подобные объекты могут возникать не только из рассматриваемых фридмановских систем, возмущенных присутствием электрического заряда. Любой другой специфический заряд — источник любого векторного поля (ρ , Φ , ω -мезонное поле, поля Янг-Миллса и т. д.) может быть виновником возникновения такой почти замкнутой системы с микроскопической полной массой, микроскопическим конечным специфическим зарядом и микроскопическими внешними размерами. Более того, если «приготовленную» в мысленном эксперименте модель фридмановской закрытой системы (пылевидная материя без давления) привести в как угодно медленное вращение, то в силу закона сохра-

⁹ Этот электростатический потенциал имеет предельно большое значение $\Phi = \frac{c^2}{\sqrt{\kappa}}$, которое не зависит от величины электрического заряда. С увеличением заряда увеличивается лишь незамкнутость системы — радиус горловины. Сферы, о которых идет речь выше, выполняют как бы роль линз — с уменьшением поверхности сферы увеличивается плотность силовых электрических линий, и когда потенциал достигает значения $\Phi = c^2/\sqrt{\kappa}$, дальнейшее увеличение плотности силовых линий становится невозможным, следовательно, становится невозможным дальнейшее уменьшение поверхности сферы.

нения момента вращения, так же, как и в случае заряда, метрика системы окажется незамкнутой: ее полная масса будет определяться только энергией вращения¹⁰ (моментом вращения), именно $M_{tot} = \sqrt{\frac{Ic}{\kappa}}$, I — момент вращения.

Как и в случае заряженной системы, которая стремится стать предельно закрытой, излучая заряд, так и вращающаяся система с такими свойствами, по-видимому, стремится различными путями свести свой момент вращения к минимальному значению \hbar и полную массу — к значению $m_f \sim \sqrt{\frac{\hbar c}{\kappa}}$, очень близкому к массам различных фридмонов, о которых шла речь выше.

Таким образом, в рамках общей теории относительности могут реализовываться системы с внешними микроскопическими параметрами (массой, зарядом, размерами), внутреннего строения которых представляется ультрамикрокосмическим миром. Поражает существование описанного выше автомата в образовании фридмоновых ансамблей тождественных частиц.

Если бы Господь Бог по своему произволу начал творить вселенные с критической плотностью, вселенные, различные по числу галактик, по уровню существующих цивилизаций, по полному электрическому заряду, то через некоторое время Творец увидел бы вместо различных вселенных ансамблей¹¹ тождественных микроскопических частиц — электростатических фридмонов...

¹⁰ Хотя внешняя метрика вращающейся системы является метрикой Керра — метрикой с осевой симметрией, этот объект все же целесообразно называть «вращающимся фридмоном», так как при $I \rightarrow 0$ внутренняя метрика системы стремится к метрике Фридмана. Правда, переход к предельному случаю ($I \rightarrow 0$) требует более осторожного рассмотрения, так как при $I \rightarrow 0$ может оказаться не полностью закрытый мир Фридмана. Пока не построена внутренняя метрика рассматриваемых систем, которая продолжала бы внешнюю для системы метрику Керра.

¹¹ Напомним, что ансамбль данного типа фридмонов, например фридмонов электростатических, является действительно ансамблем тождественных частиц, частиц, тождественных по своим внешним параметрам, но по своим внутренним структурам все члены ансамбля могли бы различаться между собой самым кардинальным образом. Фридмон может включать в себя целую вселенную, со всеми своеобразиями этих ультрамикрокосмических образований, но минимальное количество материи, кото-

Таким образом, перед нами возникают объекты микромира типа элементарных частиц с такой удивительной внутренней макроскопической структурой. Возникает вопрос, не являются ли все так называемые элементарные частицы различными видами фридмонов. Подобная картина, с некоторой точки зрения, очень соблазнительна: в духе фантастических романов полагать, что в глубинах (действительно, в глубинах) какого-либо нейтрона на какой-то планете находится автор, который также пишет статью для своего издания «Будущее науки» о микро-макроскопической Вселенной.

Но, отождествляя элементарные частицы с фридмоновыми системами, мы вступаем на путь гипотетических утверждений, которые мы пока не можем сопоставить с соответствующей теорией элементарных частиц, хотя а priori нельзя утверждать, что подобная теория принципиально не может быть построена. В случае успеха мы обладали бы в высшей степени мистической концепцией всего сущего.

Хотелось бы подчеркнуть, что, анализируя возможность существования таких объектов, как различные по своей природе фридмоны, мы не строили каких-то специфических гипотез, а исследовали различные ситуации в строгих рамках современной теории. Исследовались такие ситуации, для которых характерны не нарочитая надуманность и исключительность, а, наоборот, автоматизм возникновения и в данных условиях своего рода неизбежность.

Теперь после несколько затянувшегося введения мы подходим непосредственно к обсуждению возможного своеобразного взгляда на Вселенную, на «Мир в целом». По идее содержание предыдущих страниц призвано сделать понятным положение, анонсированное в самом начале раздела:

рая может образовать фридмон, это где-то около 10^{-5} — 10^{-6} gr.

$$m_f \sim \frac{e}{\sqrt{\kappa}}; \cong 10^{-6} \text{ gr.}; \quad \sqrt{\frac{hc}{\kappa}} \sim \frac{g}{\sqrt{\kappa}} \sim 10^{-6} \text{ gr.},$$

g — заряд векторного нейтрального мезонного поля...

Можно высказать гипотезу, что где-то при этом значении массы лежит верхняя граница собственной энергии элементарной частицы, максимальное значение массы, которым элементарная частица в принципе могла бы обладать (так называемый максимум).

«...могут оказаться ситуации, когда исследование «от меньшего к большему» может неожиданно привести к «меньшему»...

Эта фраза, брошенная во введении, без дальнейшего, конечно, звучала как парадокс. Теперь же раскрывается в полной мере ее кокетный, по-своему обыденный и прозаический смысл.

С точки зрения изложенного выше, не исключено, что окружающий нас мир представляет собой некий фридмон¹³. Это значило бы возможность существования «внешнего» по отношению к нашему фридмону пространства, с которым наш мир связан через горловинную сферу микроскопических размеров. Это значило бы, что для наблюдателя в «том пространстве» в его экспериментах наша Вселенная представляется объектом микроскопически малой массы с микроскопически малыми размерами.

Итак, призывая на помощь в мысленном эксперименте существа типа «максвелловского демона», который в своем полете от «центра» нашей Вселенной к ее горловине, пройдя ультрамакроскопические межгалактические расстояния в горловине, снова встретился бы с ультрамикроскопическими параметрами, и вылетая «наружу» через горловину, с удивлением обнаружил бы, что та Вселенная, откуда он «родом», представляется здесь микроскопическим объектом.

На этом путешествии исследователя могло бы и копиться.

В этом случае мир как целое и его структура исчерпывались бы образом фридмона в бесконечном, например, евклидовом пространстве. Но могло бы случиться и иначе. Действительно, если в этом новом для него пространстве существуют и другие фридмоны и другие элементарные частицы, которые здесь также группируются

¹³ Если при дальнейшем экспериментальном уточнении окажется, что средняя плотность вещества в нашей Вселенной является критической (т. е. $\rho \sim 10^{-29}$ gr./cm³), то в случае нейтральной материи метрика такой системы должна быть закрытой. Все соображения о такой структуре Вселенной справедливы, если квантовые эффекты не нарушат стабильность фридмонов и максимумов вообще.

Правда, утверждение о замкнутости пространства, строго говоря, имеет смысл с точностью до квантовых флуктуаций метрики $l \sim \sqrt{\frac{hc}{c^3}} \sim 10^{-38}$ см.

в макроскопические тела — планеты, звезды, галактики, то путешественник снова в своем дальнейшем полете отмеряет ультрамакроскопические расстояния в световых годах. Но средняя плотность вещества и в этом другом пространстве может оказаться близкой к критической, другими словами, это новое пространство также может оказаться почти замкнутым и снова связанным микроскопической горловиной со следующим пространством... В принципе такая повторяемость микроскопического и макроскопического может быть неограниченной. И в этом смысле мыслим своеобразный вариант бесконечной Вселенной. Но эта беспечность с повторяемостью микро- и макромиров в принципе могла бы быть продолжена (в смысле «стрелы» исследования, о которой речь шла в первых фразах раздела) и в другом, обратном направлении — именно, наш исследователь, который начал путь с некоторой точки нашей Вселенной к отдаленным звездам, мог бы обнаружить при старте некий фридмон — микроскопический объект. Наделенный нетривиальной способностью проникать через горловину фридмона, путешественник мог бы обнаружить макроскопические объекты и целую Вселенную (если фантазировать, так фантазировать) — новые цивилизации.

Но среди объектов этого мира внимание мог привлечь снова какой-либо фридмон, и путешественник снова мог бы оказаться в областях микромира. Но проникнуть через горловину... и т. д.

Логично полагать, что во всяком случае в этом направлении также может не оказаться какого-то предела для такого мысленного путешествия.

Подобная возможность делает Вселенную в целом¹³ симметричной в отношении «большого» и «малого», в отношении макро- и микроструктур. Такой вариант «Мира в целом» естественно назвать «Микро-Макро-Симметрической Вселенной». В этом варианте Вселенной осуществляется дальнейшая релятивизация наших понятий,

¹³ В этом смысле в рамках развиваемых представлений целесообразно различать миры или вселенные с малой буквы, к ним бы мог принадлежать мир, в котором мы живем, если он представляется вовсе неким фридмоном, и Вселенную с большой буквы, которая включает в себя все подобные миры, которая является истинным Миром в целом с его симметрическими макро-, микросвойствами.

именно понятий «макро» и «микро». Именно для нас окружающий мир представляется макросистемой, но если наш мир является своего рода фридмоном, то для наблюдателя «вне» его эта система относится к микромиру.

Конечно, нет никакого основания считать, что Вселенная в целом обладает именно такой структурой — это просто одна из возможностей в наших экстраполяциях, которая в принципе могла бы оказаться соответствующей действительности. Только в целях иллюстративных можно воспользоваться фантастическим путешественником, свободно вылетающим из горловины фридмонов и легко проникающим в эти своеобразные системы.

При такой «легкости» связи между мирами логично было бы обсуждать и проблему возможных коммуникационных связей между нашей цивилизацией и цивилизациями, существующими где-то внутри какого-либо другого фридмона.

Возможность подобной связи не так уж проста, как это представляется максвелловскому демону в его путешествиях¹⁴. Но надо помнить, что действительность все же может и здесь оказаться фантастичнее наших фантазий.

* * *

До сих пор мы рассматривали проблемы строения материи в их общей абстрактной форме. Но сведения, характеризующие свойства материи, возникают в реальных экспериментах. Эти реальные эксперименты, их технический уровень зависят от состояния техники в данный момент. А ближайшее будущее науки — от состояния технического прогресса в экспериментах ближайшего будущего. С этой точки зрения на последующих страницах рассматриваются возможности ближайшего будущего физического эксперимента в физике элементарных частиц. Ближайшее будущее — это одно, два ближайших десятилетия.

¹⁴ Например, для того чтобы достичь горловины полузамкнутой системы внешнему наблюдателю (находящемуся в так называемой Шварцшильдовской системе) требуется бесконечно большое время.

БУДУЩЕЕ НАУКИ *
(УСКОРИТЕЛИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ
СЛЕДУЮЩИХ ПОКОЛЕНИЙ)

Речь идет в основном о будущем физики высоких энергий. Близкое и отдаленное будущее физики высоких энергий широко обсуждалось на протяжении последнего десятилетия. Особенно интенсивно шли обсуждения, когда проектировалось строительство ускорителя в Батавии.

Итоги этого обсуждения приведены в сборнике «Природа материи. Цели физики высоких энергий». Материалы сборника перепечатаны в журнале «Успехи физических наук» [63] с добавлением ряда статей советских авторов.

Но теперь, когда строительство ускорителя в Батавии успешно завершается и начинается его эксплуатация, — естественно и своевременно возникает проблема следующего поколения ускорителей на более высокие энергии. Естественно — с точки зрения прогнозирования тенденции в развитии науки вообще и своевременно — по характеру объекта прогнозирования, в частности. Действительно, в предисловии к одному из документов, относящихся к проектированию европейского ускорителя на 300 Гэв в ЦЕРНе, Б. Грегори (в то время директор ЦЕРНа) писал: «Я должен указать на одно различие между физикой высоких энергий и многими областями наук. Неизбежно большие размеры установки вынуждают нас вести планирование лет на пятнадцать вперед» [64].

Таким образом, речь будет идти о следующем поколении ускорителей и, в сущности, для следующего поколения физиков.

В настоящее время будущее физики высоких энергий и поставленный в заголовке вопрос пельзи рассматривать вне связи с будущим физики и даже шире — науки вообще. За два истекшие десятилетия больших успехов достигли различные разделы физики, астрофизики, биологии и других наук. И будущее, часто большое перспективное будущее этих разделов науки, привлекает внимание научной общественности и вызывает известную заботу и опасения о перспективах их материального обеспечения.

* «Успехи физических наук», 1973, вып. 4, № 719.

В последние годы появился ряд статей о будущем науки, в которых так или иначе затрагивается и будущее физики высоких энергий. Так, под таким названием в 1971 г. появляется известная статья Ф. Дэйсона [65]. В том же 1971 г. печатается в «Успехах физических наук» интересная по обширному фактическому содержанию и постановкам вопросов статья В. Л. Гинзбурга [66], а в 1972 г. в журнале «Природа» появляется статья Л. А. Арцимовича [67], где акцентируется преимущественное развитие астрофизики. Обращают на себя внимание статьи [68] и [69], помещенные в журнале «New Scientist» от сентября 1971 г. Одна из них (F. T. Cole) — это панегирик заканчиваемому строительству синхротрона на 500 Гэв в Батавии и предстоящей программе научных исследований, а другая (Ph. W. Andersen) — «Нужны ли большие машины?», относится к статье предыдущей, как (пусть простят мне это сравнение) античастица относится к частице. Здесь знаки многих утверждений предыдущей статьи меняются на обратные.

Во всех этих статьях делается попытка разобраться в том, какие изменения произошли в физике, в естественных науках вообще за последние годы, какое место занимает в настоящее время физика высоких энергий и что можно сказать о перспективах науки ближайших десятилетий.

В десятилетиях, близких к первой половине текущего столетия, крупнейшими достижениями отмечено развитие микрофизики. Бурное развитие атомной и ядерной физики тех десятилетий сопровождалось фундаментальными открытиями.

Огромное влияние этих открытий на экономику, политику и межгосударственные отношения привело к своеобразному элитизму ядерной физики и физики элементарных частиц. Представители других научных областей — физики твердого тела, химии, биологии и т. д., пораженные успехами этой научной области и значением этих успехов не только в науке, но и в социальной жизни Планеты, безропотно признавали этот элитизм.

Со временем существенные успехи пришли и в другие области науки. Меняется научное общественное мнение о иерархии различных научных направлений. Ситуация имеет и чисто прозаическую сторону. Исследования в физике высоких энергий становятся очень дорогими, дорогими оказываются строящиеся ускорители.

Еще более дорогими окажутся ускорители будущих поколений. И в этой связи обсуждаются ценности получаемых на ускорителях результатов. Иногда между строк можно усмотреть вопрос: «А стоит ли игра свеч?»

Не хотелось бы идти по пути общих рассуждений — нужны ли, не нужны ли ускорители на сверхвысокие энергии вообще («на все времена и пароды»). Хотелось бы ограничиться частным конкретным обсуждением вопроса — нужны ли ускорители следующей генерации, именно, после тех ускорителей, которые только вступили или вступают в эксплуатацию. Здесь имеются в виду как ускоритель традиционного типа в Батавии, так и протонный ускоритель на встречных пучках в ЦЕРНе.

Хотелось бы провести обсуждение, учитывая как оптимистические, так и пессимистические соображения цитированных выше статей; провести это обсуждение, имея в виду и развитие науки вообще, с учетом того, как оно прогнозируется, в частности, в цитированных статьях, «отжав» из этих статей все, что не относится к нашей проблеме непосредственно, но иногда создает «фон», ненужно усложняющий задачу.

Начнем со статьи Ф. Дайсона [65]. Статья Дайсона «Будущее науки» во многих отношениях любопытна. Статья начинается с воспоминаний ситуации в Кавендишской лаборатории, которая возникла после смерти Эрнеста Резерфорда.

«К ужасу всех тех, кто еще остался в Кембридже, Брэгг (новый директор лаборатории) не предпринимал ни малейших усилий, чтобы восстановить былую славу Кембриджа... он не очень интересовался постройкой новых ускорителей... и любил повторять: «Мы здорово обучили мир, как надо заниматься ядерной физикой. Давайте теперь покажем им, как нужно заниматься чем-то новеньким»».

И это «повеськое», как известно, действительно возникло в виде научных направлений в радиоастрономии и молекулярной биологии, развитие которых сопровождалось действительно фундаментальными открытиями. Анализируя причины успеха Брэгга, руководителя Кавендишской лаборатории, Дайсон формулирует «три правила запрета», которые, по его мнению, помогли Брэггу в этой ситуации, сложившейся в Кембридже в конце тридцатых годов. «Я убежден, — пишет Дайсон, — что из этой истории

для нас вытекают сегодня (т. е. ... для обсуждения физики будущего) весьма важные выводы».

Прежде всего хотелось бы понять, могут ли эти выводы, эти правила действительно пригодиться в нашей ситуации.

Эти правила звучат почти как религиозные заповеди, несут характер категорического императива¹:

Не следует пытаться возродить былую славу... — Ведь это вопрос конкретной обстановки, конкретных условий и возможностей. Может быть не следует, а может быть иногда следует... Может быть не так уж неправы те, которые упрекали Брэгга в отсутствии желания «возродить былую славу Кембриджа» ... продолжать исследования в области ядерной физики. Это не значит, что не надо было развлекать новые направления — радиоастрономию, молекулярную биологию. Но может быть это надо было (или лучше было бы) делать где-то в другом месте — не в ущерб ядерной физике...

Хорошо, что в Беркли возник такой центр исследований, который в известном смысле принял эстафету кембриджских исследований структуры материи и элементарных частиц.

«Не следует пытаться возродить былую славу»... это отнюдь не заповедь — это лишь одно из альтернативных предложений при обсуждении судьбы того или иного научного института.

Каждый научный институт имеет свой юный, зрелый возраст и возраст преклонный.

15—20 лет обычно отпускает время на цикл развития института. А затем институт либо возрождается, либо погружается в небытие, либо возникает в совершенно ином виде. Нет, это правило нам не поможет. Но правило это цитируется в литературе, создавая тот излишний «фон шумов», от которого желательно освободиться.

И вопрос о «моде» совсем не так прост.

Каждая конкретная мода вначале возникает как, так сказать, «антимода», новая мода в противовес существующим. Как правило, научной модой становится то направ-

¹ а) «Не следует пытаться возродить былую славу».

б) «Не следует заниматься чем-то только потому, что оно самое модное».

в) «Не следует обращать внимание на насмешки и высокомерие теоретиков».

ление, которое кажется чем-то обещающим. К кому же обращена эта вторая заповедь?

Мода, как правило, привлекает людей, в массе своей не всегда очень творческих, т. е. людей, которые сами, как правило, не создают моду. Но люди эти — часто очень энергичные и результативные в своих практических действиях, а в теории обладают нередко большими формальными способностями, что дает им возможность быстро и эффективно «в рамках моды» получать результаты, испытать моду «на прочность», и может быть таким образом исчерпать, а возможно и закрыть моду.

В научном мире такая разновидность исследователей есть, она нужна, она неизбежна в экологии, если можно так сказать, научного творчества, как нужно разнообразие живых организмов в экологическом равновесии существа на Земле.

«Не следует обращать внимание на насмешки и высокомерие теоретиков...»

Почему только теоретиков?

Напомним известную цитату — «Всякий, кто ожидает получения энергии в результате трансформации атомов, говорит вздор». — Это ведь из речи Э. Резерфорда на съезде Британской Ассоциации содействия развитию науки от 11 сентября 1933 г.

Обсуждаемый вопрос относится опять к той же, если можно так выразиться, экологии научного творчества. Многие, не только теоретики, способны вылить ушат холодной воды на горячие головы энтузиастов.

Очень часто это люди очень квалифицированные, с большой эрудицией и кругозором. Они, в первую очередь, умеют видеть трудности, которые в силу привычного, по своему логического мышления кажутся непреодолимыми.

Кажется, Форд где-то писал, что если бы он хотел сделать неприятность своим конкурентам он посоветовал бы им набрать большое число высококвалифицированных инженеров, каждому из которых с самого начала была ясна невозможность любого нового предложения. Если такого высказывания у Форда не было, то его следовало выдумать. Но, с другой стороны, критицизм необходим в экологии науки. Волики, как известно, приносят большую пользу, уничтожая слабых животных. Конечно, иногда в беду попадают сильные, здоровые. Это трагедия отдельного индивидуума.

Экологическое равновесие мудро устанавливается само собой не только во флоре и фауне.

Поэтому если совет Дайсона относится к новаторам науки, сильным духом и мыслью, — он им не пужен. Если он обращается к огромному большинству изобретателей в кавычках, — он не идет на пользу науке. Но, отбросив в сторону эти не прямо относящиеся к делу страницы статьи Дайсона, мы встречаемся в ней с двумя высказываниями, которые следует вставить в список конкретных вопросов, подлежащих дальнейшему обсуждению.

Во-первых, представляет интерес оценка Дайсоном предстоящей экспериментальной ситуации на ускорителе в Батавии. Оценка эта очень богата различными («по знаку») оттенками. Дайсон пишет: «Грубо говоря, весь эффект от грандиозных денежных затрат и немалых человеческих усилий в Батавии сводится к тому, чтобы продвинуть область энергий, доступных физике, вверх на одну ступень десятки от десятков Гэв, которыми мы обладали в 1970 г.

Мы все искренне надеемся, что Природа предложит нам новые очень важные явления, которые мы сможем обнаружить, продвинувшись именно на эту ступень десятки. Если выяснится, что природа именно так поступила, те усилия, которые были затрачены на строительство ускорителя, окажутся вполне оправданными. Если же окажется, что именно в этом новом доступном интервале энергий нет никаких фундаментально новых явлений, построенная машина окажется просто монументальной безделушкой.

Отношение Дайсона к созданию рекордного по энергии ускорителя в Батавии грамматически выражается условными предложениями: «если» ...

В строго логическом построении грамматических фраз нельзя отказать автору.

Но стропильный материал для этих фраз взят столь скупо, что он не только не характеризует обсуждаемую ситуацию, а существенно ее деформирует. Конечно, верно и то, что другие ускорители, как, например, бэватрон в Беркли, строялись в свое время более целенаправленно, бэватрон, в частности, строился прямо для подтверждения (или опровержения) существования антипротонов. И выполнение этой задачи а priori оправдывало строительство бэватрона, а открывателям эффекта рождения

протоно-антипротонных пар — получение Нобелевской премии.

Предельная же энергия машины в Батавии не определялась какой-либо одной подобного рода фундаментальной задачей. Но была сформулирована обширная программа, которая в общем направлена к заполнению «белых пятен» в картине физических явлений в этой области энергий.

В физических исследованиях должен был быть пройден этот интервал энергии — это такая же историческая необходимость в развитии науки, как в былые времена исследование «белых пятен» на географической карте Земли — он должен иметь и имеет своих энтузиастов, героев, а может быть и мучеников...

Дайсоном полностью игнорируется обширная и существенная по тематике программа исследований, разработанная большим коллективом физиков. Кстати говоря, эта программа со временем постепенно расширяется, становится все более интересной и значительной. Здесь имеется в виду, в частности, ситуация с множественным рождением частиц, с масштабной инвариантностью, в общем, — круг вопросов, возникший в то время, когда строительство ускорителя близилось к завершению; круг вопросов, которые не входили в число аргументов, обосновавших необходимость строительства ускорителя.

Далее Дайсоном сделано противопоставление возможностей экспериментов в космических лучах экспериментам на ускорителях. Обсуждение этих вопросов мы продолжим в дальнейшем в числе других вопросов, которые поставлены в статьях, о которых речь выше.

Основа основ всего написанного в статье Андерсона [69] заключена в следующей фразе: «Ученые начали понимать, что «широг конечен» и все, что «рго» физике высоких энергий, — это «соп» к чему-то другому...» Любое обсуждение предмета должно исходить из того факта, что физика высоких энергий страшно «дорога». То, что физика высоких энергий дорога, — нет сомнений. Более того, любая наука дорожает, и это обстоятельство мы обсудим в списке вопросов отдельным вопросом: «удорожание науки». Но прежде хотелось бы из статьи Андерсона «отжать» положения, которые, как и в статье Дайсона, образуют «фоновый туман» вокруг реальных проблем, подлежащих обсуждению.

Сюда следует отнести рассуждения автора о стратегии науки. Он стремится убедить читателя, что не накопление новых фактов, а новые концепции, новые точки зрения совершают революционные изменения в науке. Видимо, автор, исходя из чисто философских концепций, хотел бы рекомендовать физике высоких энергий не накапливать новые факты (к тому же, это дорого), а больше концептуально мыслить...

Совсем не надо доказывать и убеждать, что революционное изменение в науке связано обычно с новыми точками зрения. Но может автор указать тот момент, когда фактов становится достаточно для появления новых концепций, новых точек зрения?

Другое конкретное утверждение автора о том, что темп возникновения новых открытий в физике высоких энергий с ростом энергий входящих в эксплуатацию ускорителей радикально замедляется. Автор употребляет даже термин «кризис ситуации» в физике высоких энергий. Это утверждение уже требует обсуждения. Итак, *о «кризисе ситуации» в физике высоких энергий, или «законе убывающего плодородия» что ли ускорителей на высокие энергии.*

В конце концов совет Андерсона — это замедлить не только экспериментальные, но и теоретические исследования в области физики высоких энергий.

Особенно странно звучат советы Андерсона замедлить теоретические исследования. Чтобы не исказить его мысль, не придать им еще более неприглядный оттенок, лучше привести этот совет на языке, на котором он звучит в устах автора: «I do not advocate abandoning high-energy theory, just slowing it down in favor a brodder attach on the genuinne problems we already have».

Другими словами, проблемы физики высоких энергий не являются «гenuine problems», т. е. не являются «подлинными», «истинными» проблемами. Комментарии здесь только способны ослабить впечатления от высказанной автором мысли. Мы еще вернемся к этому оригинальному совету. Андерсон ищет обоснование своим рекомендациям, в частности, в обсуждаемом им положении об отсутствии иерархичности в науке, в его тезисе об автономности наук («the sciences are autponomous»). Развивая этот тезис, Андерсон полемизирует с высказываниями В. Вайскопфа о фундаментальном характере

(«интенсивном» в терминологии Вайскопфа) субъядерной физики. В дальнейшем, видимо, целесообразно подробнее остановиться на тезисе Андерсона об автономности наук в свете той своеобразной роли, которую играет физика высоких энергий в семействе наук своим прямым и косвенным влиянием. Далее следует пополнить список дискутируемых вопросов теми вопросами, которые возникают при чтении статьи В. Л. Гинзбурга [66].

В дальнейшем, следуя В. Л. Гинзбургу, мы будем говорить о микрофизике как области, включающей в себя проблемы физики высоких энергий и даже несколько шире — проблемы «субъядерной» физики.

Микрофизика для своих исследований использует не только технику высоких энергий. В физике и микрофизике есть два направления развития, которые дополняют друг друга — это физика высоких энергий, с одной стороны, и физика пучков частиц относительно низких энергий, но высоких интенсивностей. Эти направления исследований в некоторой области конкурируют между собой. Так, специфические особенности эффектов, которые характерны для области высоких энергий, при низких энергиях слабо проявляются. Но слабые проявления этих эффектов (малые сечения) могут быть, однако, детектированы в пучках частиц очень высокой интенсивности.

В физике высоких интенсивностей проявляются и свои специфические закономерности явлений. По предельным энергиям индивидуальных частиц физика высоких интенсивностей может на много порядков отставать от физики высоких энергий. Типичными представителями физики высоких интенсивностей является физика лазерных пучков, физика высокоинтенсивных электронных ускорителей в мевных диапазонах энергий и так называемые мезонные фабрики.

Любопытные примеры физики высоких интенсивностей представляют собой лазерные пучки фотонов. Лазерные лучи возникли не в ускорительной технике и не в физике высоких энергий, возникли не для нужд ядерной физики и элементарных частиц. Но повышение интенсивности в лазерном луче расширяет применение лазерного луча до проблем управляемых термоядерных реакций и даже физики элементарных частиц.

При больших интенсивностях лазерный луч и луч ускоренных электронов, например, во многих отношениях

аналогичны. Эти столь различные по природе лучи оказываются способными конкурировать друг с другом в возможностях различных применений². Конкуренция возможна, в частности, и в применении к проблемам управляемых термоядерных реакций. Как мощный лазерный луч, так и сфокусированный поток, например, электронов могут служить источниками вторичных пучков высокой интенсивности, например, нейтронов; источниками заряженных частиц высоких энергий — здесь имеется в виду, с одной стороны, рождение пар частиц и античастиц в интенсивных лазерных лучах [70] и ускорение, например, протонов потоками электронов, в частности, в установках типа «смокотрон», с другой стороны. В отличие от физики высоких энергий лазерные лучи, сильноточные электронные, протонные ускорители — мезонные фабрики имеют почти беспредельные возможности для практических применений в технике, в медицине, в народном хозяйстве.

Поэтому целесообразно, чтобы в физике высоких интенсивностей существенную часть финансирования брали бы на себя различные министерства. Физика высоких энергий также вознаграждает с большими процентами народному хозяйству потраченные на нее деньги, но не всегда (как мы увидим ниже) непосредственным образом и, как правило, не быстро. Физика высоких энергий нуждается в долговременном «займе», но под большие «проценты».

Одна из закономерностей здесь такова, что ускорительные установки, построенные для исследований в области ядерной физики и элементарных частиц, начинают со временем использоваться все больше и больше для нужд смежных наук: твердого тела, химии, биологии, геологии, экологии и т. д. и в меньшей степени для нужд самой физики элементарных частиц. А для пучка физики элементарных частиц строится очередной ускоритель на большую энергию. Есть известие, например, что один из самых больших в мире циклических электронных ускорителей (С. Е. А., США) целиком переводится на исполь-

² При очень интенсивных потоках любых частиц (фотонов, нейтронов, электронов, протонов и т. д.) общим для них является способность передавать малому объему вещества (в пределе пары или даже одной частицы) огромные порции энергии.

зование его синхротронного излучения в различных приложениях. Как известно, на D.E.S.Y. (ФРГ) также широко используются каналы синхротронного излучения.

Последние замечания вносят существенную поправку в тезис Андерсона «...все, что «рго» физики высоких энергий,— это «соп» к чему-то другому».

В статье Гинзбурга³ сделана попытка ответить на вопрос: «Какие проблемы физики и астрофизики представляются сейчас особенно важными и интересными». Автор приводит около двадцати проблем из различных областей физики, которые действительно представляют значительный интерес. Но особое внимание привлекает тот раздел статьи, который озаглавлен «О микрофизике вчера, сегодня и завтра». Автор статьи многократно извиняется за неизбежную субъективность высказываний, делает массу оговорок, смягчая формулировки, боясь прослыть «врагом» микрофизики. Автор всячески подчеркивает авангардную роль микрофизики в науке. Автор желает ей всяческих успехов, в частности, в строительстве новых ускорителей.

Но для целей нашего обсуждения целесообразно отбросить полутона, чтобы контуры вопросов, поставленные статьей Гинзбурга, проступили яснее, хотя мы таким образом выходим за рамки цитируемой статьи. Дело в том, что вопросы эти действительно существуют, они фигурируют «на улице» общественного мнения. Почему, действительно, не принято говорить о них открыто в «нашем доме» — на страницах физических журналов. «Сегодня» по сравнению с «вчера», согласно защищаемому здесь мнению, — (пишет автор), — место микрофизики и в физике, и во всем естествознании радикально изменилось».

Эти изменения автор видит и в снижении удельного веса проблем микрофизики в физических журналах, и в снижении интереса к микрофизике со стороны нового поколения, идущего в науку. Причину этих изменений автор находит в том, что до середины нашего века вопросы микрофизики «имели определяющее значение для развития всего естествознания». Объекты, изучаемые микрофи-

³ Заметим, что статья [66] была недавно переработана и расширена ее автором (она печатается отдельной брошюрой под названием «О физике и астрофизике» в издательстве «Наука»), мы цитируем статью [66], так как пока именно она известна читателю.

зикой (атом, атомное ядро), «были хлебом насущным». Разгадать строение атома, понять действующие в нем законы (для этого пришлось открыть квантовую механику!) значило дать мощный толчок многим областям физики, астрономии, химии, биологии. Примерно то же самое можно сказать об атомном ядре — его изучение породило возможность использования ядерной (атомной) энергии и даже дало известные основания называть XX век «атомным веком».

Это было вчера. Но что же сегодня? Сегодня изменился объект микрофизики: «Исследуемые микрофизикой частицы либо живут ничтожные доли секунды, либо, как в случае нейтрино, почти свободно пронизывают земной шар и улавливаются лишь с колоссальным трудом». В общем новые объекты микрофизики — это экзотические и редкие растения».

Изменился объект микрофизики, изменилось значение объекта микрофизики для других наук, изменилось, так сказать, и «социальное» положение микрофизики и ее авторитет у молодого поколения. Итак, среди вопросов, поставленных статьей Гинзбурга, целесообразно обсудить вопрос и в такой формулировке: «*Экзотичность объекта микрофизики и значимость ее сегодня для других наук.* А завтра? А завтра — «предположение (которое я не боюсь высказать), что самый блистательный в каком-то смысле период в физике микрофизики уже позади. Не все ведь обязаны верить в существование «бесконечной матрешки» — открыли одну куклу, а в ней другая — и так без конца».

Таким образом, и в нашем списке возникает новый вопрос: действительно есть основание полагать, что самый блистательный период⁴ в жизни микрофизики уже позади и что раскрыта последняя «матрешка»?

Правда:

«Характер задач, стоящих перед микрофизикой, сегодня ни в коей мере не уступает по своей жгучей таинственности и трудности проблемам ее вчерашнего дня. Иными

⁴ Говоря о блистательном периоде в жизни микрофизики, Гинзбург, видимо, имеет в виду главным образом ее приложения, атомную энергетику, ее социальную значимость. Здесь мы должны извиниться за некоторую «неточность» в изложенной точке зрения автора. Но с подобными высказываниями приходится встречаться и обсуждать их целесообразно.

словами, микрофизика осталась... аванпостом физики, ее самой передовой и глубокой частью». Жаль, что в статье остался неразвитым последний тезис. Однако из основных задач дальнейшего обсуждения — раскрыть, насколько возможно, в полной мере содержимое этого тезиса. Именно, почему и в каком смысле можно считать, что микрофизика осталась «аванпостом физики, ее самой передовой и глубокой частью».

Теперь после несколько затянувшегося введения настало время обратиться к рассмотрению ситуации в микрофизике непосредственно.

Вчера, сегодня и завтра микрофизики

Очень поучительно рассмотреть исторический процесс развития физики, нарисованный очень крупными мазками — картину исторического процесса, так сказать, «с высоты птичьего полета». При таком рассмотрении выступает отчетливо любопытная черта этого процесса: именно, своеобразная иерархия закономерностей, господствующих в мире физических явлений при продвижении физических исследований ко все меньшим и меньшим пространственно-временным областям, в которых разыгрываются исследуемые процессы. В этом историческом процессе перед физиками каждый раз раскрывались новые миры физических явлений со своими специфическими закономерностями, когда физики переходили к изучению явлений в областях, по своим размерам на 2—3 порядка меньших.

а) Иерархия длин — иерархия закономерностей

В физике существует исторически оправданная тенденция исследовать явления в областях все меньших и меньших размеров. На различных рубежах длин в изученном пока интервале от 10^{-3} см до 10^{-13} см открывались неизвестные до тех пор новые миры физических явлений.

Так в области размерами 10^{-3} — 10^{-7} см был открыт мир молекулярной физики, возникла кинетическая теория материи. В областях размерах на порядок два меньшими 10^{-8} см $h^2/m_e e^2$ открылся мир атомных явлений и возникла квантовая теория. Исследования в областях 10^{-11} см ($h/m_e c$) привели к новому неожиданному кругу явлений, связанному с возможностью рождения электронно-позитронных пар, возник круг явлений, описываемый релятивистской квантовой теорией Дирака. В областях 10^{-13} см открылся мир физики атомного ядра, в областях 10^{-16} см открылась физика адронов, физика странных частиц, мир возбужденных состояний адронов.

В настоящее время физические исследования продвигаются в области длин, меньших чем 10^{-16} см. Эта иерархия длин и открывающихся на этих длинах миров физических явлений ясна из прилагаемой таблицы.

Иерархия длин — иерархия закономерностей

l , см	Мир физических явлений	Энергия ускоренных частиц
$\sim 10^{-6}$ — 10^{-7}	Мир молекулярной физики	~ 1 эв
$\sim 10^{-8}$	Мир атомных явлений Атомные спектры	~ 10 эв
$\sim 10^{-11}$	Открытие рождения $^+e^-e$ пар — квантовая теория Дирака	~ 1 — 10 Мэв
$\sim 10^{-13}$	Физика атомного ядра	~ 100 — 1000 Мэв
$\sim 10^{-14}$ — 10^{-15}	Мир странных частиц	~ 10 — 100 Гэв
$\sim 10^{-17}$	Раскрытие природы слабых взаимодействий? + ...	$\sim 10\,000$ Гэв в лаб. системе ~ 300 Гэв в системе ц. и.
.....
$\sim 10^{-20}$	Структура микропространства?... ? Нелокальность полей	$\sim 10^{19}$ Гэв в системе ц. и.

Как видно из таблицы, историческая закономерность пока действительно такова, что проникновение в области физических явлений, на два-три порядка меньшие по своим размерам, вело к открытию нового мира физических явлений. Пока строение материи, образно говоря, действительно иллюстрируется известной игрушкой — матрешкой. Можно, конечно, задавать вопрос, сколько вложенных содердит реальная «игрушка» — материя? Или этот процесс раскрытия матрешки бесконечен?

Конечно, в такой общей форме вопрос остается без ответа⁵. Но вполне уместно спрашивать, действительно ли можно утверждать, что физикой уже раскрыта последняя «матрешка». Или, конкретнее, можно ли ожидать существование новой физики, когда в распоряжении физики окажутся длины (параметры удара) еще на порядка два меньше.

Другими словами, что ожидает физиков на длинах порядка 10^{-17} см? Энергетически это значит, что речь идет об ускорителях с энергией 300 Гэв в системе центра инерции.

Если анализировать таблицу последовательности длин и закономерностей, то следовало бы сказать, что наиболее важными и интересными результатами оказываются неожиданные и непредсказанные результаты на этих новых этапах физических исследований.

Действительность, как правило, оказывается фантастичнее любой необузданной фантазии.

В этом стремлении к физике меньших длин — к физике более высоких энергий, нельзя недооценивать и большую малящую силу пока исторически оправдывавшихся надежд на встречу с чем-то совсем новым. Однако мы не будем акцентировать этот, может быть, чисто психологический фактор, хотя от него отвлечься тоже невозможно. Но в данном случае на рубеже предстоящих длин, именно длин порядка 10^{-17} см можно уверенно говорить о большом ожидаемом прогрессе в наших знаниях. Дело в том, что именно этот рубеж длин, как рубеж длин, имеющий фундаментальное значение, уже органически содержится в современной теории слабых взаимодействий. Размерная константа, определяющая слабые взаимодействия, характеризуется квадратом длины (l^2), где l как раз близка к 10^{-17} см.

Во всяком случае, мы можем с уверенностью сказать, что на этих длинах получим ответ на один из наиболее интригующих вопросов современной физики, именно — *какова природа слабых взаимодействий?*

В чем же заключается нераскрытая пока тайна слабых взаимодействий?

Как известно, сечения слабых взаимодействий растут с энергией взаимодействующих частиц.

Константа слабых взаимодействий мала, поэтому в слабых взаимодействиях используется аппарат теории возмущений — разложение по слабому параметру взаимодействий. Так как сечения растут с энергией взаимодействующих частиц, оказывается, что при больших энергиях, несмотря на малость константы взаимодействия, следующие, высшие приближения теории становятся сравнимыми с низшими приближениями или даже становятся больше приближений низших. Другого же аппарата (не теории возмущений) в нашем распоряжении пока нет. Попытки построить более совершенный формализм для вычислений сечений слабых взаимодействий встречаются с фундаментальной трудностью теории слабых взаимодействий, связанной с наличием расходящихся величин, которые не удается устранить способами (т. е. перенормировками), оказавшимися эффективными в электродинамике.

В общем, мы не знаем, как ведут себя слабые взаимодействия при параметрах столкновений, близких к длине, характеризующей слабые взаимодействия, той длине 10^{-17} см, о которой шла речь выше, или при энергиях, близких к 300 Гэв в системе центра тяжести. Другими словами, у нас есть реальная фундаментальная задача для ускорителя с энергией ~ 300 Гэв в системе центра инерции. Такой ускоритель (~ 300 Гэв ц. и.) мы в дальнейшем будем называть кратко — *ускоритель унитарного предела*⁶. Есть основания полагать, что эта проблема может быть связана с другой проблемой слабых взаимодействий. А именно со времен Ферми (1934 г.) теория слабых взаимодействий формулируется как взаимодействие четырехчастичное: при β -распаде нейтрон распадается на протон, электрон и антинейтрино. Все другие известные в природе взаимодействия — это взаимодействия исключительно трехчастичные. Так, нейтрон, испуская π -мезон, превращается сильными взаимодействиями в протон, и т. д.

Около 30 лет существует тенденция свести четырехчастичные слабые взаимодействия к трехчастичному. Этого

⁶ В теории возмущений предполагается, что по причине слабости взаимодействия начальное состояние системы не меняется, другими словами, унитарность учитывается с точностью до следующего приближения. Унитарность предельно максимально нарушается, если следующее приближение оказывается равным предыдущему или больше него.

⁵ Более детальное обсуждение проблемы содержится в настоящей книге в разделе «О понятии первоматерии».

можно достичь предполагая, что наблюдаемое слабое взаимодействие на самом деле осуществляется в два этапа. Вначале нейтрон переходит в протон, испуская некоторую гипотетическую частицу — W-мезон (трехчастичное взаимодействие), а этот так называемый промежуточный W-мезон распадается затем на электрон и антинейтрино (второе трехчастичное взаимодействие).

Идея унификации типов взаимодействий настолько привлекательна, что на всех ускорителях, во всех новых диапазонах энергии снова и снова ставятся эксперименты по поиску промежуточного W-мезона. В настоящее время на действующих ускорителях W-мезон пока не обнаружен. Нижний предел массы промежуточного W-мезона пока лежит в области 2—5 Гэв.

Энергии ~300 Гэв в системе центра тяжести (ускоритель унитарного предела) — это та предельная энергия, для которой имеет смысл идея промежуточного мезона и его экспериментальные поиски. И в этом смысле на ускорителе унитарного предела теория слабых взаимодействий подвергается решающему испытанию. На следующих страницах мы расширим обсуждение различных аспектов предстоящего этапа микрофизики в эпоху появления экспериментальных возможностей ускорителя унитарного предела.

б) Есть ли основания полагать, что «самый блистательный период в жизни микрофизики позади»?

Каскад поразительных открытий новых закономерностей микромира двадцатых-тридцатых годов, многообразие элементарных частиц и их свойств в последующих десятилетиях — все это в каком-то смысле «развратило» наше восприятие и оценку быстроты научного прогресса. Стало несколько нетерпеливым ожидание новых научных открытий. Появились упреки, даже известное недовольство темпами новых открытий. Делается попытка установить, чуть ли не «закон природы», согласно которому с вводом ускорителей на более высокие энергии «темпы новых открытий в этих новых энергетических областях радикально замедляются...» [69].

Дело в том, что иерархия длин, о которой речь шла выше, и соответствующие им энергии должны исчис-

ляться в системе центра инерции. Энергия в системе центра инерции ($E_{с.п.и.}$) связана с энергией в лабораторной системе ($E_{лаб}$) квадратичной зависимостью:

$$E_{лаб} = \frac{E_{с.п.и.}^2}{2M_p c^2}. \quad M_p — \text{масса протона.}$$

Начиная со времени создания первого космотрона на 3 Гэв (1953) и кончая работой Серпуховского ускорителя на 75 Гэв, в настоящее время (1973 г.) энергии в системе центра инерции увеличилась или соответствующие длины уменьшились в отношении $\sqrt{3/75}=1/5$ — только в пять раз...

Таким образом, с точки зрения иерархии длин и закономерностей, о которой шла речь выше, мы в течение последних двадцати лет экспериментируем примерно в одной и той же области физических закономерностей. Хотелось бы, чтобы это существенное обстоятельство всегда имелось в виду при анализе ситуации в физике высоких энергий.

Скорее достойно удивления, как много нового открыто и открывается в этой сравнительно узкой области.

Не исключено, что одно из существенных экспериментальных достижений физики высоких энергий последних лет — это исследование сечений глубокоупругих взаимодействий при рассеянии, в частности, лептонов (нейтрино, электронов) высоких энергий на нуклонах.

«65 лет назад Эрнест Резерфорд, наблюдая, как рассеиваются α -частицы на тонкой металлической фольге, пришел к выводу, что атом не является однородным, а состоит из отрицательно заряженных электронов, окружающих малые положительно заряженные ядра... Недавние эксперименты с электронами, ускоренными до энергии 21 Гэв на двухмиллионном Стэнфордском линейном ускорителе, указывают на то, что история, по-видимому, повторяется на расстояниях, в 100 000 раз меньших, чем атомные. Оказалось, что электроны сверхвысоких энергий рассеиваются на протонах так, как никто не предполагал. Из этих опытов был получен вывод о том, что ядерные частицы обладают сложной внутренней структурой и состоят из точечных компонентов, названных партонами» ([18]).

Хотя толкование этих экспериментов совсем не столь

однозначно, как это излагается Кепдалом и Панофским⁷, все же новая идея строения нуклонов из новых для науки частиц (партонов) возникла — она будет жить, проверяться в дальнейших экспериментах.

И в дальнейшем, конечно, не исключено ее экспериментальное подтверждение.

Но в данном случае речь идет о раскрытии следующей «матрешки», почти в буквальном смысле этого образа.

Правда, в отличие от ситуации со слабыми взаимодействиями, современная теория не содержит конкретной длины, с которой связывалось бы существование новых структурных единиц. Если подобные частицы и существуют, то мы не можем сказать, какое поколение ускорителей потребуется для их обнаружения. Не исключено, что прямые или существенные косвенные данные в пользу существования таких частиц могут быть получены на ускорителях ближайшего поколения.

Необходимо подчеркнуть, что в последние десятилетия появилась принципиально новая концепция о структуре материальных частиц. Если до последних десятилетий в истории человеческой культуры господствовала идея, согласно которой, грубо говоря, частицы большей массы строились из частиц меньших масс, то в последние десятилетия возникла идея, в некотором смысле противоположная этой древней, как казалось, и очевидной идее. Появилась идея строить частицы меньших масс из частиц больших масс, сильное взаимодействие между которыми приводит к соответствующему дефекту масс данных систем. Здесь имеется в виду попытка строить μ -мезоны из μ -мезонов (Венцель), π -мезоны из нуклонов и анти-нуклонов (Ферми — Янг), адроны из эсов (ace — туз), кварков (Цвейг, Гельман) и, наконец, партоны Фейнмана.

В связи с этой модификацией фундаментальной концепции о самой природе структуры вещества, которую, кстати, можно рассматривать как одну из самых радикальных революций в наших представлениях о строении материи за всю нашу историю, возникает вопрос, могут ли

⁷ Дело в том, что подобное поведение (увеличение) эффекта рассеяния лептонов на нуклонах, сопровождаемого множественным рождением частиц, все-таки предполагалось за несколько лет до осуществленных на СЛАКе экспериментов. Подробнее см. в настоящей книге в разделе «Формфакторы и полные сечения слабых и электромагнитных взаимодействий».

быть какие-то соображения о существовании в природе максимально тяжелой частицы, которая могла бы быть предельным по массе структурным материалом для всех частиц. Любопытно, что из мировых констант можно построить целую группу близких по массе частиц, которые могли бы претендовать на эту роль. Из констант e (электрический заряд), g (мезонный заряд), \hbar — постоянная Планка, c — скорости света, κ — гравитационной константы можно построить следующие величины, имеющие размерности массы:

$$M = \frac{e}{\sqrt{\kappa}} \sim 10^{-6} \text{ gr.}, \quad \sqrt{\frac{\hbar a}{\kappa}} \sim 10^{-6} \text{ gr.} \cdot \frac{g_x}{\sqrt{\kappa}} \sim 10^{-6} \text{ gr.}$$

Любопытно, что эта группа частиц максимально большой массы (скажем, «максимонов»), которую можно построить из мировых констант, вся лежит в узком интервале масс: $10^{-5} - 10^{-6} \text{ gr.}$

Соответствующие длины (\hbar/Mc) лежат в области $10^{-32} - 10^{-33} \text{ cm}$. С точки зрения иерархии длин, длины эти должны находиться на самой нижней строчке вышеприведенной таблицы. По-видимому, 10^{-33} cm — это самая последняя длина в списке фундаментальных длин. На этой предельной длине, по-видимому, теряет смысл само понятие расстояния вообще из-за квантовых флуктуаций метрики. И с этой точки зрения, эти длины и соответствующие им массы частиц должны бы действительно рассматриваться как предельные.

Но интерес к максимонам как возможным структурным элементам заключается в том, что при таких массах и таких размерах, как оказывается, только гравитационных сил достаточно для образования систем с желаемым дефектом масс. Возможно, что между слабой длиной (10^{-17} cm) и, скажем, гравитационной длиной ($10^{-33} - 10^{-32} \text{ cm}$) существует ряд иерархических длин, управляющих своими специфическими мирами физических явлений. Но в рамках существующих физических представлений и известных мировых констант пока нет места для каких-либо других длин.

Очень возможно, что эти гипотетические частицы в свободном состоянии нестабильны⁸.

⁸ Утверждение, что в настоящее время микрофизика имеет своим объектом «редкие экзотические растения», частицы короткоживущие, которые не имеют прямого отношения к «хлебу насущ-

Что касается высказанных утверждений, что «самый блистательный в каком-то смысле период микрофизики уже позади», то это положение, не вытекающее логически из каких-либо обоснованных посылок, является просто одной из остро сформулированных дискуссионных (и, надо сказать, часто дискутируемых) тем.

Кстати, вопросы подобного рода уже не раз возникали в истории науки, и напомнить о них очень поучительно.

И здесь опять не лишне вспомнить (см. стр. 90—91, 134) известное утверждение М. Милликена, относящееся к концу прошлого столетия, о том, что «все великие открытия в физике уже сделаны», характеристику, по свидетельству М. Планка, научного общественного мнения конца прошлого столетия, говорящую о том, что «теоретическая физика заметно приближается к той степени совершенства, какими уже столетиями обладает геометрия» [11]. В начале текущего столетия прозвучал гимн Д. Гильберта «Об абсолютной универсальности» теории относительности, способной дать исчерпывающее описание всех свойств материи, в конце первой четверти XX в. — рассуждения Фридриха и Фридрикса «О предсмертных часах знания» [32]. Можно привести также неоправдавшиеся и более современные высказывания. Можно полагать, что будущая история науки зарегистрирует много случаев рецидива мыслей о «конце знания», о конце науки.

Конечно, этот исторический экскурс ни в коем случае

пому», к той форме стабильного вещества, в котором мы существуем, не совсем точно. Во-первых, стабильные частицы — протоны, электроны, фотоны, нейтроны и сложные атомные ядра — по-прежнему остаются объектами исследования во всех областях энергии. И наиболее впечатляющие результаты физики высоких энергий (глубоко неупругие процессы) как раз связаны со взаимодействием именно таких частиц (протонов — электронов). Более того, такая короткоживущая частица в свободном состоянии, как нейтроны в связанном состоянии, стабильна и входит в стабильную ядерную материю.

По-видимому, такие короткоживущие частицы, как гипероны, являются структурными элементами коллапсирующих небесных тел и их посленейтронной стадии. Более того, если окажется, что партоны или другие подобные гипотетические частицы действительно являются структурными единицами вещества, то, возможно, именно в свободном состоянии нестабильные, короткоживущие частицы («экзотические») являются тем хлебом насущным, о котором говорится в статье Гинзбурга. Мы не можем утверждать, что так будет на самом деле, но эту возможность мы также не можем исключить.

не является каким-либо доказательством против утверждения, что наиболее блистательный период микрофизики уже позади. Результатом этого экскурса может быть лишь большая осторожность в утверждениях. Но в известном смысле реальный и, кажется, довольно убедительный ответ на этот вопрос можно получить из анализа тех еще не решенных проблем, которые стоят перед микрофизикой. Конечно, в случае обнаружения более фундаментальных структурных элементов типа кварков или партонов перед нами возникнет действительно новый и в определенном смысле блистательный период науки. Но эта гипотеза не обязательно должна реализоваться. Есть, однако, проблемы, решение которых безусловно составит новую и притом, может быть, действительно самую блистательную эпоху в науке. И эти проблемы, как это представляется в настоящее время, видимо, прямо могут быть связаны с экспериментальными возможностями обсуждаемого поколения ускорителей.

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 сказали 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. Другими словами, наши попытки описать свойства этих полей в отдельности — электродинамику саму по себе, слабые взаимодействия сами по себе и т. д., — оказываются несостоятельными⁹.

⁹ В настоящее время появились аргументы в пользу того, что собственная масса электрона, по-видимому, не может быть электромагнитного происхождения. В ряде работ найдено более точное выражение для электромагнитной массы электрона Дирака. Это решение «сверхпроводящего типа» ([71]), оно не разлагается по степеням константы тонкой структуры. Оно в отличие от известной логарифмической зависимости возвращает выражение к классической линейной расходимости, но с очень малым факто-

Мы не понимаем и не можем количественно описать возникающий во взаимодействиях этих «стихий» спектр так называемых элементарных частиц. Мы практически давно пришли к мысли, что исследовать «до конца» каждое из таких взаимодействий в отдельности невозможно. Всегда наступает такой момент в физике высоких энергий, когда в поведении данного эффекта начинают принимать участие все другие взаимодействия и нельзя изъять из природы целиком одну из ее «стихий», не нарушив всего остального. Мы привыкаем к мысли, что природа построена без архитектурных излишеств. В сущности, мы давно привыкли к мысли о единстве природы. Но мы не умеем описать единство четырех «стихий», хотя различными путями стремимся к нему. Фарадею удалось установить глубокую связь магнитных и электрических явлений. Но Эйнштейну не удалось объединить в единой картине гравитационные и электромагнитные взаимодействия. Гейзенбергу не удалось на основе некоего фундаментального Ψ -поля добиться успеха в понимании некоторых сторон этого единства. Но мы стремимся и будем стремиться к пониманию глубокого единства «стихий».

В настоящее время возникли идеи «нарушенных симметрий». В них пока брезжит возможность создания единой теории слабых и электромагнитных взаимодействий.

ром, характеризующим поляризацию вакуума:

$$\Delta m \sim \left(\frac{e^2}{rc^2} \right) e^{-\frac{3\pi}{2} \frac{\hbar c}{e^2}}.$$

Масса порядка массы электрона возникает лишь при обрывании на длинах $r \sim \frac{e^2}{mc^2} e^{-650}$. Эта длина на много порядков меньше той длины, на которой теряет смысл само понятие длины из-за квантовой флуктуации метрики. Более того, выражение Δm автоматически делается конечным при учете гравитационного дефекта данной массы, сконцентрированной в данной области. Конечная электромагнитная масса электрона оказывается порядка $\sqrt{\frac{\hbar c}{\kappa}} \cdot e^{-\frac{3\pi}{2} \cdot \frac{\hbar c}{e^2}}$, т. е. масса электрона не может быть электромагнитного происхождения (вернее, электродинамического происхождения), если эти вычисления верны. Правда, выражение для Δm существенно меняется, если учесть существование μ -мезонов, протонов и, возможно, других заряженных ферми-частиц, но тогда мы выходим за рамки электродинамики.

Пока речь идет не об определенной конкретной теории, а скорее о некоей стратегии в попытках построения такой теории в рамках универсализации трехчастичных взаимодействий. В этой концепции находит свое, казалось бы, естественное место идея промежуточного мезона, а его масса дается численными значениями, не очень далекими от энергетического значения того же унитарного предела¹⁰. В следующем поколении ускорителей именно о таких энергиях и идет речь. Развивающиеся концепции теорий слабых и электромагнитных взаимодействий являются также одним из сильных аргументов в пользу построенных ускорителей на высокие энергии и строительства следующего поколения ускорителей. Следует также напомнить, что слабыми взаимодействиями обладают не только лептоны, но и адроны, поэтому уже в настоящее время становится ясным (это показывают различные конкретные варианты теорий), что подобная последовательная концепция должна включать в себя единую теорию слабых электромагнитных и сильных взаимодействий. Есть также серьезные основания полагать, что регуляризирующая роль гравитационного поля может явиться также одним из наиболее существенных моментов этой концепции. Все сказанное скорее свидетельствует о том, что «блестательный период» микрофизики еще впереди.

Мы еще неоднократно будем возвращаться к обоснованию этого тезиса в дальнейшем, обсуждая некоторые дальнейшие проблемы физики будущего.

в) Место микрофизики в иерархии наук. Влияние микрофизики на другие науки и на технический прогресс

Вряд ли можно серьезно говорить о какой-то иерархии наук в формальном смысле этого слова вообще. Вряд ли имеет смысл вопрос, в каком иерархическом отношении находятся микробиология и микрофизика или микрофизика и социология. Но в рамках физики, вернее, в рамках науки, скажем, о «неживой» природе, нельзя не согласиться с Гинзбургом, что микрофизика является

¹⁰ В варианте этой теории, например, для нейтрального промежуточного бозона, дается значение ~ 40 Гэв, а для заряженного ~ 80 Гэв.

«авантюстом физики, ее самой передовой и глубокой частью». Отношение микрофизики к другим наукам характеризуется многими специфическими чертами, органически присущими именно микрофизике.

В статье Гинзбурга перечислено большое количество важных проблем, стоящих перед физикой и астрофизикой. Но эти проблемы, как правило, частные проблемы. Одна из характерных особенностей этих проблем заключается в том, что почти каждая из них, которая в настоящий момент представляется очень значительной и интересной, может при дальнейшем исследовании в существенной части или полностью потерять свою значимость и интерес и вычеркнуться из «титюлованного» списка проблем. В настоящее время вычеркивается из этого списка, например, проблема тяжелой воды. Металлический водород может не обладать свойствами, которые удобно было бы, например, использовать в высокотемпературной сверхпроводящей технике.

Очень соблазнительная идея поисков и создания высокотемпературных сверхпроводников может оказаться, например, физически принципиально нереализуемой. Может оказаться, что в природе нет относительно устойчивых трансурановых элементов. Более перспективной для осуществления термоядерной реакции может оказаться, например, не лазерный вариант, а, как некоторые полагают, вариант электронный или даже в известном смысле традиционно термоядерный.

Это не значит, что перечисленные проблемы не представляют интерес. Ведь в случае нахождения высокотемпературных сверхпроводников возникла бы подлинная революция в технике. Здесь хочется подчеркнуть отличие частных физических проблем от генеральной проблемы микрофизики — исследовать физические явления во все меньших пространственно-временных областях. Это генеральная проблема мировоззренческого характера — она имеет абсолютную ценность независимо от результата исследования: необходимо знать, каков мир физических явлений в этих областях физического мира — и это стремление знать для человечества представляет цель, к которой оно всегда будет стремиться. Это такое же естественное стремление, которое влечет нас к исследованию и ультрамикроскопических глубин Вселенной, к астрономии и астрофизике.

Но отвлекаясь от этих общих положений, возвращаясь к конкретной теме настоящего раздела, мы можем лишь повторить, что на ускорителях существующего и следующего поколения, во всяком случае, на длинах 10^{-17} см мы раскроем тайну природы слабых взаимодействий. А какова она, т. е. окажется ли, что истинное взаимодействие аналогично электродинамическому (трехчастичному) или действительно истинное слабое взаимодействие — это четырехфермионное взаимодействие — и тот и другой результат явится фундаментальным, фундаментальными окажутся изменения уровня нашего знания природы.

Была уже речь о том, что с самого момента возникновения четырехфермионной формулировки слабых взаимодействий казалась заманчивой идея свести четырехфермионное взаимодействие к трехчастичному по типу электродинамики и других известных взаимодействий. То, что слабые взаимодействия в этой теории оказывались взаимодействиями особой природы, так сказать, «белой вороной» в семействе всех взаимодействий, делало идею унификации всех взаимодействий естественной и очень привлекательной. Если же выяснится в обсуждаемых экспериментах, что слабые взаимодействия сохраняют четырехфермионное своеобразие, то тогда притягательную силу будут иметь и прямо противоположные идеи о структуре взаимодействия¹¹. С самого момента появления в физике таких величин, как спиноры, было известно, что из двух спиноров можно построить объекты с различными трансформационными свойствами — вектор, тензор, скаляр и т. п. Так возникла в свое время идея нейтринной теории света — вектор электромагнитного поля строить из двух спиноров, описывающих нейтрино. С самого начала появления в физике спиноров возникла и живет идея фундаментальности именно спинорных полей, которые, возможно, определяют структурно и все другие поля. Таким образом, эксперименты в обсуждаемой энергетической области в случае подтверждения истинности четырехфермионного взаимодействия безусловно оживят эту по-своему также необычайно привлекательную концепцию. Мы видим, таким образом, на каком важнейшем перекрестке дорог дальнейшего развития науки о природе оказываются эксперименты в этой конкретно обсуждаемой энергетической области.

¹¹ Т. е. идея четырехфермионной структуры всех взаимодействий.

В последние годы больших успехов достигла астрофизика — обнаружение реликтового излучения, новых астрофизических объектов, таких, как квазары, пульсары, нейтронные звезды и, возможно, черные дыры — все это привлекает внимание широкой научной общественности. Можно даже встретить утверждение, что именно астрофизике в настоящее время следует отдать предпочтение среди других физических наук (Арцимович [57]). Слов нет, успехи астрофизики большие, слов нет, ей пока у нас уделяется недостаточно материальных средств и внимания. А в то же время астрофизика стала в большей степени, чем раньше, экспериментальной наукой. Это обстоятельство связано с тем, как справедливо формулирует Гинзбург, что в настоящее время астрофизика становится всеволновой. Если раньше астрофизические исследования велись только в области оптических длин волн, то теперь появление, с одной стороны, радиоастрономии, с другой — рентгеновской и γ -астрономии необычайно расширяют экспериментальные возможности астрофизики и получения новых сведений из космоса. А впереди многообещающая нейтринная астрономия и астрофизика гравитационных волн.

Безусловно, в астрофизике в последние годы получены существенные результаты, открытия. Но наиболее блестящее открытие в астрофизике это, по-видимому, все-таки открытие не последних лет. Это, по-видимому, то открытие, которое почти полсотни лет тому назад привело к модели нестационарной расширяющейся Вселенной, с метрикой, возможно, типа Фридмановской.

По сравнению с этим открытием открытие квазаров, нейтронных звезд и черных дыр, конечно, менее впечатляющие открытия.

Если осмелиться проявить уже упоминавшуюся на этих страницах неосторожность, то можно было бы высказать мысль, что наиболее блестящий период в развитии астрофизики уже позади? Но не хотелось бы на себя брать роль пророка.

Далее небезынтересно заметить, что астрофизика в каком-то смысле становится ближе микрофизике. Ведь нейтронные звезды это, в сущности, грандиозные атомные ядра.

В какой-то своей стадии — даже гипер-ядра. Нейтронные звезды — это макроскопическая форма ядерного вещества.

С другой стороны, в настоящее время широко обсуждаются глобальные свойства черных дыр и очень похоже, что подобное состояние материи следует учитывать при построении последовательной теории элементарных частиц¹². Астрофизика, вернее, общая теория относительности в принципе допускает существование таких объектов с почти закрытой внутренней метрикой, как фридмоны¹³.

¹² Последнее замечание связано с тем, что в современной теории элементарных частиц в промежуточных состояниях допускаются состояния с как угодно большой энергией. Полная масса промежуточного состояния может быть больше массы любого космического тела. Но в то же время, в нарушение всякой логики, современная теория игнорирует в этих состояниях гравитационные взаимодействия этих масс. Обращает на себя внимание то обстоятельство, что если в промежуточном состоянии оказывается масса порядка

$$M \sim \sqrt{\frac{\hbar c}{\lambda}} \sim 10^{-6} \text{ gr.}$$

то гравитационный радиус массы $r_{\text{грав}} = \frac{2\kappa M}{c^2} = 2\sqrt{\hbar c} \frac{\sqrt{\lambda}}{c^2}$ совпадает

с областью локализации этой массы, допускаемой соотношением неопределенностей Гейзенберга $l \sim \frac{\hbar}{Mc} = \sqrt{\hbar c} \cdot \frac{\sqrt{\lambda}}{c^2}$.

При дальнейшем увеличении энергии промежуточного состояния (E) гравитационный радиус должен был бы соответственно возрасти. Но, с другой стороны, области локализации промежуточного состояния, согласно соотношению Гейзенберга,

должны соответственно уменьшаться и при $M \geq \sqrt{\frac{\hbar c}{\lambda}}$ ста-

новились бы меньше гравитационного радиуса. Если подобная ситуация возникла бы в области применимости классической физики, мы бы сказали, что речь идет о системе, масса которой находится под гравитационной сферой Шварцшильда, т. е. системе типа черной дыры.

¹³ См. главы «О понятии первоматерии» (стр. 131) и «О кварках, партонах и глобальном бутстрэпе» (стр. 151).

Кажется, совсем недавно возникла идея кварков, но теперь перед нами большая область физики элементарных частиц. Идея эта вошла в науку не как «госпожа», а скорее как «слуга», как некоторое формальное представление, удобное для ряда расчетов.

Здесь мы встречаемся (будет сказано не в укор этой идее) со случаем своеобразного «теоретического эмпиризма» — таким теоретическим эмпиризмом отмечено и появление таблицы Менделеева. В известном смысле судьба этой идеи пока скорее напоминает начальную историю появления в физике такого объекта, как нейтрино. Понятие нейтрино возникло так же, как «подсобное» понятие для формулировки ситуации с законами сохранения при β -распаде.

В настоящее время еще не ясно, повторит ли идея кварков последующую историю открытия нейтрино. Но пока ясно одно,

Эта возможность делает относительными сами понятия «макро» и «микро».

Есть некоторые основания полагать, что конечная стадия коллапса звезд — это проблема микрофизики. Действительно, если дальнедействующие кулоновы силы могут в принципе останавливать коллапс, то силы, обязанные обменом тяжелым векторным мезоном на расстоянии $\sim 10^{-13}$ см, играют ту же роль дальнедействующих сил отталкивания. А плотность коллапсирующей звезды в таком малом объеме $\sim 10^{12}$ г/см³, т. е. на 20 порядков меньше так называемой квантовой плотности (10^{84} г/см³), где, как некоторые полагают, коллапс мог бы быть остановлен каким-то (пока лишь неизвестным) своеобразием квантовых явлений.

Наконец, в начальный момент развития Вселенной, когда Вселенная оказывалась локализованной, допустим, в области 10^{-13} см¹⁴ — принадлежит ли подобный объект ведению макро- или микрофизики?

А какой таинственностью окружен пока этот момент начального взрыва? Какие неожиданности могут возникнуть в изменениях наших представлений о физических законах, когда наступит понимание физики этого события — может этот момент и будет самым блистательным этапом в истории астрофизики (а может быть, и микрофизики?)

Последние замечания представляют собой существенные поправки к положению Андерсона об автономности наук.

Конечно, физика высоких энергий, или более общо микрофизика, не является иерархическим базисом всех наук. И действительно, любой изолированный результат физики высоких энергий может не иметь никакого отношения к биологии, химии, социологии или философии. Но тем не менее прямое и не прямое влияние всей развивающейся области микрофизики на все науки в целом больше, чем какой-либо другой конкретной научной области. Очень

что эта идея оказалась эвристически необычайно ценной — она инициировала многие эксперименты и возникновение неожиданно новых направлений в теории поля, чреватых существенной ломкой наших теоретических представлений о поле, об элементарных частицах и т. д. Не присутствуем ли мы при начале «нового блистательного периода микрофизики»?

¹⁴ Примерно при таких размерах Вселенной достигается так называемая квантовая плотность материи.

существенно отметить и не прямое влияние современных фундаментальных исследований физики высоких энергий на науку и технику вообще. Дело в том, что эта область исследований сопровождается появлением принципиально новой — очень совершенной физической аппаратуры, часто принципиально новой техники, которая находит применение во многих областях науки и техники, народном хозяйстве вообще, и оказывает существенное влияние на технический прогресс в целом. Масштабы этого влияния недостаточно изучены, и оно пока ждет своего исследования. Мы не будем напоминать о большой роли ускорителей в различных областях науки, медицины и народного хозяйства.

Можно, например, напомнить, что многоканальные анализаторы возникли в экспериментальном оборудовании микрофизики, а какое широкое применение многоканальные анализаторы находят теперь в различных областях науки! Как учесть ту выгоду, которую приносят мировому хозяйству те усовершенствования, которые введены экспериментальной микрофизикой в использовании электронно-вычислительных машин. В настоящее время широкое развитие начинает принимать использование синхротронного излучения различного диапазона волн в химии, в физике твердого тела, биологии. Неизвестно, к каким открытиям в биологии могут привести новые богатые возможности последования временных изменений в клетках с помощью синхротронного излучения в ангстремном диапазоне. Еще раньше биологии был «подарен» электронный микроскоп, физика же твердого тела в синхронном диапазоне волн 10—2000 ангстрем еще ждет своего развития.

Можно, например, утверждать, что следующее поколение ускорителей будет построено с использованием сверхпроводящей техники. И последняя в процессе создания ускорителей этого поколения получит свое дальнейшее развитие, которое окажет существенное влияние на применимость сверхпроводящей техники во многих областях народного хозяйства. Выше шла речь о не прямом влиянии экспериментальной физики высоких энергий на другие науки и технический прогресс. Но не менее важно и достойно внимания то обстоятельство, что теоретический аппарат, формализм теории, развивавшийся, казалась бы, в рамках потребностей физики элементарных частиц,

пашел и находит, как известно, блестящее и эффективное применение в других областях физики, в частности, в физике твердого тела. Не хотелось бы еще раз вспоминать предложения Андерсона о замедлении теоретических исследований в области физики высоких энергий. Очень уж незавидна роль того персонажа из басни, который по причине, как мы сказали бы, «узости» кругозора, изрекал известную фразу: «лишь были бы жолуди» ...

Утверждение, что широкое практическое применение эффектов самой микрофизики уже исчерпано, не является логическим выводом из каких-либо бесспорных посылок. Когда имеют в виду практические применения ядерной физики в прошлом, то обычно речь идет об использовании энергии, выделяемой в ядерных реакциях. Но это ведь только примерно один процент от всей энергии, которая заключается в веществе.

С тех пор, как в науке появилось соотношение $E=Mc^2$, возникла и остается мучающая проблема использования полной энергии вещества. Я уже слышу «крики беотийцев» и фразу типа той, которая звучала в цитированной речи Резерфорда. Что ж, мы знаем историю, знаем, насколько неудачным оказался прогноз авторитетнейшего ученого.

Мы действительно пока не знаем путей использования этой энергии, но значит ли это — невозможность использования и в будущем. Во всяком случае, неиспользуемая кладовая энергии в природе существует. В будущем, вероятно, будут найдены технические возможности долговременного хранения значительного количества антивещества, этого максимально калорийного топлива.

По современным представлениям, энергия, выделяемая Солнцем, возникает в результате ядерных реакций одновременно с испусканием мощного потока нейтрино. Этот поток нейтрино пока не обнаружен. Если десятикратное уточнение эксперимента не приведет к обнаружению солнечных нейтрино, мы будем вынуждены искать нетривиальных объяснений явления. Кстати, на этот случай теоретики заготовили одну из нетривиальных возможностей. Она возникла из попытки объяснить пока еще загадочный эффект нарушения так называемой четности в распаде K_L^0 -мезона на две π -частицы. В одном из вариантов теории, разрабатываемой в Серпухове, возникает нарушение сохранения энергии. Оказывается, что это нарушение за-

копа сохранения энергии достаточно для наблюдаемого энергосыделения Солнца без испускания ожидаемого числа нейтрино.

Конечно, исходя из здравого научного консерватизма, мы должны «морально» сопротивляться этой экстраординарной возможности (экология...), но, а если...

К сожалению, о будущих возможностях науки мы, по определению, не можем сказать многого. Мы не можем говорить о том, чего мы еще не знаем. Обычно самое важное и значительное в новой области исследований (как учит нас история) — это неожиданное и непредвиденное. *И существенный аргумент в пользу микрофизики заключается в том, что именно здесь неожиданное наиболее вероятно.* Нельзя предвидеть, какие практические применения возникнут на основе будущих исследований микрофизики, еще более необоснованными были бы любые отрицательные суждения.

Обычно чреватые далеко идущими последствиями явления, которые не находят пока объяснения в рамках устоявшихся представлений. Мы действительно не знаем, к чему нас приведет понимание пока непонятной ситуации с нарушением комбинированной четности в распаде K_L^0 -мезона. Мы еще не знаем, что таит в себе пока непонятная ситуация с отсутствием ожидаемого потока солнечных нейтрино. Мы пока продолжаем здесь, мыслить привычными понятиями. Не исключено, что мы еще входим в микромир с макроскопической невежливостью — «в пальто и калошах».

«На каждом историческом этапе какая-либо одна из научных дисциплин, принадлежащих к большому региону естествознания, выходит на авансцену и становится знаменем научного прогресса». (Арцимович [67]). Как следует из того, что сказано выше, есть определенные основания полагать, что на дилнах, близких к энергетическому упитарному пределу (~ 300 Гэв в системе центра инерции), на «авансцену» снова выходит физика, физика высоких энергий. Хотелось бы еще раз подчеркнуть, что мы здесь совсем не ставим своей целью доказательство необходимости сооружения ускорителей на высокие энергии вообще. Речь идет об ускорителях именно на определенную энергию (~ 300 Гэв¹⁵ в с. ц. п.) с вполне опре-

¹⁵ ~ 300 Гэв, т. е. порядка 300 Гэв, но по существу речь идет о 300 Гэв и выше, например, 300—400 Гэв.

деленными задачами¹⁶, и игра здесь определенно стоит свеч.

Итак, второй раз на протяжении четверти столетия возникает целенаправленный проект ускорителя, строительство которого заранее оправдано ожидаемыми результатами.

Надо ли строить затем ускорители на большие энергии — этот вопрос остается открытым: в настоящее время у нас нет конкретных аргументов в пользу такого утверждения. Не исключено, что ускорители этой генерации окажутся последними (по предельной энергии) в истории ускорительной техники. В этой связи мы не обсуждаем, какой тип ускорителей на данную энергию следует считать предпочтительным: традиционный ли, со встречными пучками, и в этом случае протонно-протонный или протонно-антипротонный, электронно-протонный и электронно-позитронный. Правда, очень соблазнителен по ряду возможностей ускоритель на встречных электронно-протонных пучках. Но обсуждение конкретного варианта ускорителя этого поколения — это вопрос особый. Этот вопрос требует длительной и кропотливой работы.

Удорожание наук

Очень часто приходится слышать утверждение, что физика высоких энергий стала дорогой. Это утверждение справедливо. Но, к сожалению, справедливо более общее утверждение, а именно, *все науки становятся дорогими*. Дело в том, что постепенно наступила эра, если можно так сказать, индустриализации наук. Правда, именно ядерная физика была инициатором и первым объектом серьезной индустриализации ее экспериментальной базы, что явилось прецедентом к созданию мощных установок

¹⁶ На основании целесообразности сооружения такого ускорителя мы ограничимся теми задачами, которые заведомо имеют решения (альтернативные), любое из которых оправдывает сооружение. Мы совсем не касались обширной программы физических исследований (асимптотические проблемы и пр.), которая переходит к этому ускорителю «в наследство» как продолжение работ ЦЕРНа, Серпухова и Батавии. Мы это сделали сознательно, чтобы сказать: «а кроме того, — имеется широчайшая программа исследований на этом ускорителе, которой мы здесь не касаемся», с подобной программой исследований можно познакомиться по статье Блохинцева и др. в УФН, т. 109, 259, 1973.

в сущности во всех областях науки. В атомной физике был впервые преодолен и чисто психологический барьер бытовавшей «скромности» экспериментальных установок, предназначенных для научных исследований. Появилась практика создания таких установок такого масштаба, которая ранее отсутствовала. А главное, доказана реальная возможность и целесообразность такой индустриализации. Конечно, на самом деле идет речь не о психологическом эффекте, а о реальном и материальном процессе в развитии наук. Наука в широком смысле этого слова стала более, чем когда-либо, существенным элементом технического прогресса, а высокий технический прогресс индустриализует науку. Следует сказать, что наука, посвященная космосу, по своей дороговизне давно и намного обогнала физику. Во многих других областях наук необходимость больших затрат также быстро возрастает. Теперь стало очевидным: создание в стране ускорителя, предельного по своим параметрам, в настоящее время — это не просто организация еще одного института, это появление нового национального, а по своим тенденциям нового международного центра по физике высоких энергий¹⁷.

Подобный центр координирует научную деятельность многочисленных научных институтов, которые принимают участие в работах центра.

Организация подобного центра почти в любой области науки требует материальных затрат, которые в своих тенденциях в различных областях науки, видимо, стремятся к существенному количественному сближению. Так, в августовском номере «Physics Today» за 1972 г. опубликована программа предполагаемого финансирования астрофизических исследований на предстоящее десятилетие. Эта программа разработана специальным комитетом под руководством Гринштейна (J. Greenstein). В совокупности стоимость этой программы оценивается что-то около 800 миллионов долларов. Стоимость лишь одного радиотелескопа, строительство которого предполагается завершить в 1980 г., выражается в сумме, близкой к 80 миллионам долларов. Другой пример, передовой в научном отношении, — национальный центр по физике твердого тела должен содержать в своем комплексе достаточно

¹⁷ Эти тенденции перерастания национальных центров в центры международные могут существенно облегчить и проблему финансирования.

могущий исследовательский реактор, различного рода ускорители, в том числе ускоритель, эксплуатирующий синхротронное излучение, современный парк вычислительных машин — все это вместе на первой очереди строительства такого центра требует вложения примерно тех же ста миллионов рублей.

Создание национального центра по термоядерным исследованиям в их различных направлениях — традиционных, электронных, лазерных — только на первых порах своего развития требует не менее тех же ста-двухсот миллионов рублей.

Хорошо экипированный Национальный биологический центр (передовые по конструкции центрифуги, электронные микроскопы, соответствующие ускорители, в том числе дающие синхротронное излучение в необходимом диапазоне, парк вычислительных машин и т. д.) в течение нескольких лет реализует ассигнования в размерах тех же 100 миллионов рублей.

Строительство современного Национального центра, например, по борьбе с раковыми заболеваниями, вооруженной современной передовой техникой до л-мезонной терапии включительно и диагностирующими ЭВМ, требует затрат того же порядка. Ускоритель следующего поколения и ускоритель унитарного предела потребует до 1990 г. затрат не больше тех, что планируются на развитие астрофизики в США.

Иногда приходится слышать высказывания, что следующие поколения ускорителей надо строить не путем использования затрат больших денежных средств, а с помощью, образно выражаясь, «серого мозгового вещества», находя новые нетрадиционные возможности в ускорительной технике. Конечно, поиски новых возможностей в ускорительной технике необходимы и они ведутся. Но опыт строительства в физике высоких энергий свидетельствует о том, что все то, что создается вокруг ускорителя, в том числе и техника, необходимая для экспериментов, требует финансовых затрат больших, чем стоимость самого ускорителя. Таким образом, если в будущем повезет найти возможность, которая сведет к нулю стоимость самого ускорителя, — затраты на создание всего центра сократятся менее чем наполовину. Практически, видимо, дело идет об уменьшении общих затрат на создание центра на какие-то не очень большие проценты, что вряд ли

имеет принципиальное значение для обсуждаемой проблемы.

Совет Дайсона ([65]) заменить исследования на ускорителях исследованиями в физике космических лучей не является полезным советом, а аргументы, приводимые Дайсоном, хотя во многом и справедливы, но несостоятельны в главном. Исследования в космических лучах дали очень много ценного и существенного для физики высоких энергий.

Эту заслугу физики космических лучей справедливо подчеркивает Дайсон. Справедливы и советы Дайсона активизировать исследования в физике космических лучей. Дело в том, что представители ускорительной физики высоких энергий недооценивали и недооценивают результаты и возможности физики космических лучей. Эта недооценка и иногда игнорирование данных космических лучей часто является результатом незнакомства с ними. И отчасти, надо сказать, обязана непривычному и чуждому ускорительной технике качественному мышлению «космиков»: очень часто им приходится делать заключение на основании далеко не точных, по необходимости неполного набора данных. Хотя во многих случаях эти выводы оказывались соответствующими действительности.

С другой стороны, именно строго количественный характер данных, получаемых на ускорителях, «деморализовал» и самих «космиков», работавших ранее в этой же энергетической области. В результате у исследователей космических лучей возник своеобразный «комплекс неполноценности», который и задержал процесс индустриализации этой области исследований.

Та дешевизна физики космических лучей, которая подчеркивается Дайсоном, относится к прошлому.

Если заниматься физикой космических лучей серьезно (т. е. результативно), она также перестанет быть дешевой. Внеатмосферная физика космических лучей требует создания хорошо ориентированных орбитальных станций. Некоторая скромная часть подобной программы запланирована в том же докладе Гринштейна наряду с внеатмосферной рентгеновской и γ -астрономией на общую сумму 380 миллионов долларов. Но даже более совершенная и более дорогая внеатмосферная физика космических лучей не в состоянии выполнить ту программу исследований, которая вырисовывается в возможностях

ускорителей следующего поколения. Отдельные темы наземной физики космических лучей, конечно, представляют большой интерес в этой области энергии и тех задач, которые не пересекаются в текущем десятилетии с ускорительной физикой высоких энергий. Они могли бы играть роль качественных и полуквантитативных ориентиров для ускорительной физики следующего поколения. Но здесь стоимость эксперимента значительно возрастает благодаря необходимости вести существенным образом его индустриализацию и соответственно увеличить масштабность.

Так постепенно отмирает миф о дешевизне современных экспериментов в научных областях, не связанных с физикой высоких энергий. Дороговизна современного эксперимента имеет ту же причину, что и дороговизна современного воздушного лайнера по сравнению с затратами на самую роскошную почтовую карету конца восемнадцатого века.

Но возможность подобных затрат в различных областях народнохозяйственной деятельности обязана непрерывно возрастающим национальным доходам, возрастание которых обязано техническому прогрессу и, в конечном счете, той же науке. В то же время следует напомнить, что общая сумма мировых затрат на науку составляет лишь малую часть мирового бюджета.

И выделение средств на развитие наук пока еще в существенной части не всегда определяется рационально внутренними потребностями науки, а тем, сколько «можно» выделить на науку в ряду других затрат. Но в этом «можно» еще столько неопределенностей и случайного.

Речь идет не о том, чтобы делить произвольно наперед заданные, прямо скажем, не очень большие размеры «пирога» (говоря словами Андерсона), а о том, что естественно, целесообразно, рационально, и потому, в конечном счете, выгодно ассигнование средств на развитие науки привести в разумное соответствие с внутренними и естественными потребностями различных научных направлений.

Если этого нет, то существенная вина и нас, ученых, заключается в том, что мы не смогли еще убедить современный мир, общество в необходимости рационального, истинно планового подхода к финансированию науки.

Приложение А

О ВОЗМОЖНОЙ НЕЛОКАЛЬНОСТИ КВАНТОВЫХ ТЕОРИЙ ПОЛЕЙ, ВКЛЮЧАЮЩИХ ГРАВИТАЦИЮ

Аргументы в подтверждение возможной нелокальности квантовых теорий полей, включающих гравитацию и не входящую в противоречие с принципом причинности можно усмотреть в следующем.

DeWitt, рассматривая взаимодействие двух скалярных частиц через гравитационное поле, получил некую функцию, характеризующую это взаимодействие в виде ([72], с. 114):

$$Z(x) = \frac{i}{(2\pi)^2} \frac{1}{x_{\mu}^2 - \lambda^2} \quad (1)$$

В обычной теории поля взаимодействие (верное функции) пространства $D(x)$ соответственно имеет вид:

$$D(x) \sim \frac{1}{x_{\mu}^2} \quad (2)$$

Функция $D(x)$ геометрически интерпретируется так называемым световым конусом.

Функция $Z(x)$ описывает взаимодействие, смещенное с конуса на гиперлоид. Это смещение взаимодействия в пространственном направлении на величину $\lambda \sim \sqrt{\frac{\hbar c}{E^2}} \sim 10^{-33} \text{ см}$ совпадает с приведенными в тексте, с размерами ожидаемой области нелокальности, следующей из анализа измерения физических величин, ограниченной соотношением неопределенностей Гейзенберга.

Анализируя функцию $Z(x)$, DeWitt замечает, что эта функция характеризует такое взаимодействие, как если бы вокруг взаимодействующих частиц возникала жесткая недеформируемая оболочка размерами λ . Можно напомнить, что один из вариантов нелокальной теории, предложенный лет пятнадцать тому назад ([73], с. 148), характеризовался введенным ad hoc функции распространения

$$D(S') \sim \frac{1}{x_{\mu}^2 - a^2},$$

т. е. функций такого же вида, которые получены DeWitt'ом не ad hoc, а с использованием гравитационных взаимодействий.

Твердая пространственная сфера вокруг взаимодействующих частиц означает распространение сигнала в этой области со скоростью, большей скорости света, — т. е. противоречие с принципом причинности. Не удалось избежать противоречия с принципом причинности, сдвигая конус во временном направлении. Более того, анализ подобной функции распространения показал ([73])*, что и в данном случае возникает indefinite метрика, которая, правда, помогает избавиться от «бесконечностей», но привносит с собой новые хорошо известные трудности (в принципе отрицательные вероятности и т. д.).

Но подобная нелокальность была бы приемлема, если бы состояния с indefinite метрикой оказались бы не наблюдаемыми, не физическими состояниями.

В работе Е. Фрадкина и Вельковического ([74], стр. 85) показывается, что в квантовой теории гравитации возникают состояния с indefinite метрикой, но они возникают лишь в так называемых промежуточных (реально не наблюдаемых) состояниях, в состояниях, лежащих, как говорят, не на массовой оболочке. Подобная ситуация свидетельствовала бы в пользу развиваемого нами варианта приемлемой теории нелокального взаимодействия.

Приложение Б

МАКСИМОН КАК КОНЕЧНОЕ СТАБИЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ЧЕРНОЙ ДЫРЫ

В примечании на стр. 148 высказано предположение, что нулевые колебания материи черной дыры могли бы быть причиной стабильности предельно малых по массе черных дыр (максимонов).

Это замечание, возможно, заслуживает некоторых пояснений.

Как известно, по Хокингу [75], черная дыра излучает как черное тело, нагретое до температуры

$$T = \frac{\chi \hbar}{2\pi k},$$

* В работе [73] использовалась в отличие от работы DeWitt'a сигнатура 1, -1, -1, -1, другими словами, конус смещался не в пространственном, а во временном направлении.

где χ т. н. поверхностная гравитация черной дыры

$$\chi = \frac{4\pi(r_+ - M)}{A},$$

здесь M — масса черной дыры, и

$$r_+ = M + (M^2 - Q^2)^{\frac{1}{2}},$$

$$A = 4\pi [2M^2 - Q^2 + 2(M^2 - M^2 Q^2)^{\frac{1}{2}}],$$

Q — электрический заряд невращающейся черной дыры, $c = \kappa = 1$.

Если черная дыра излучает энергию так, что ее масса $M \rightarrow Q$, $r_+ \rightarrow M$, а следовательно, $\chi \rightarrow 0$ и «температура» черной дыры $T \rightarrow 0$.

В этом случае излучение черной дыры как излучение *черного* тела прекращается ($T=0$).

В этом случае оставшаяся масса черной дыры целиком является массой энергии ее электро-статического поля.

Та же ситуация возникает для электрически нейтральной, но вращающейся черной дыры, если ее масса целиком обязана ее энергии вращения. В принципе может реализоваться и промежуточный случай, когда вся масса черной дыры обязана электростатическому полю и вращению.

Если масса заряженной невращающейся черной дыры в результате теплового излучения стремится к величине заряда Q , то возникает объект «фридманового» типа, т. е. при $Q \rightarrow 0$, масса данного объекта стремится к нулю и внутренняя метрика объекта, вообще говоря, характеризуется метрикой замкнутого мира.

Как было указано в тексте книги, такой объект при $Q > e$ (e — заряд электрона) должен излучать электрические заряды.

Теперь это излучение — не термодинамическое излучение, не излучение черного тела ($T=0$), а чисто полевое. В подобном случае вращающейся дыры может быть также нетермодинамическое излучение, уменьшающее вращательный момент объекта.

Спрашивается, как могли бы нулевые колебания вещества черной дыры наложить запрет на полное излучение ее массы?

Общие аргументы в пользу такой возможности связаны с тем обстоятельством, что:

- 1) если реальность нулевых колебаний вакуума подлежит обсуждению, то нулевые колебания в веществе, как показывают эксперименты, реально существуют;
- 2) энергия нулевых колебаний не повышает температуру объекта и не может излучаться объектом.

Прежде всего требуется согласиться с этими положениями.

Но даже если предыдущие утверждения справедливы, в принципе может случиться, что энергии нулевых колебаний испытывает в данных условиях такой большой гравитационный дефект масс, который ведет к запулению их полной энергии.

Так как речь идет о черных дырах очень малых масс, где плотность материи близка к квантовой ($r \sim 10^{60}$ гр/см³), то в такой практически непрерывной среде возможны колебания как угодно большой частоты ν_0 .

Так как речь идет о малой ограниченной области, где реализуются эти колебания, то речь идет о гравитационном дефекте массы волнового пакета средней частоты ν_0 или

$$\frac{\hbar\nu}{c^2} = \frac{\hbar\nu_0}{c^2} - \kappa \left(\frac{\hbar\nu}{c^2} \right)^2 \frac{1}{2r \cdot c^2}, \text{ где}$$

$$\frac{\hbar\nu_0}{c^2} - \text{масса начального колебания,}$$

$$\frac{\hbar\nu}{c^2} - \text{реальная масса «кванта», с учетом гравитационного дефекта.}$$

Во втором члене правой части уравнения стоит квадрат гравитирующей массы $(\hbar\nu/c^2)^2$, а не исходной $(\hbar\nu_0/c^2)^2$. В левой части уравнения записана «инертная» масса. Таким образом, в этом элементарном подсчете принято во внимание равенство инертной и гравитационной массы, т. е. в согласии с общей теорией относительности скорректировано ньютоновское приближение.

Решение этого квадратного уравнения дает

$$\frac{\hbar\nu}{c^2} = -\frac{rc^2}{\kappa} + \sqrt{\frac{r^2c^4}{\kappa^2} + \frac{2r\hbar\nu_0}{\kappa}}.$$

Второй член под радикалом можно переписать в виде

$$\frac{2\hbar c}{\kappa} \frac{r}{\lambda_0}$$

при стремлении размеров пакета $r \rightarrow 0$, также стремится к нулю и λ_0

$$\frac{\hbar\nu}{c^2} \text{ при } r \rightarrow 0 \sqrt{\frac{2\hbar c}{\kappa}} \sim 10^{-6} \text{ gr.}$$

Другими словами, оставшаяся после всего процесса излучения масса объекта обязана целиком энергии нулевых колебаний. Эта оценка показывает, что черная дыра в ее конечном состоянии может оказаться стабильной частицей с массой максимона.

Можно получить другую оценку обсуждаемого эффекта, рас-

сматривая красное смещение частоты пульсовых колебаний в гравитационном поле этих колебаний

$$\hbar\nu = \hbar\nu_0 \frac{(1-r_{gr})^{1/2}}{r},$$

$$\text{где } r_{gr} = \frac{2\kappa M}{c^2}, \quad m = \frac{\hbar\nu}{c^2}.$$

Решение этого квадратичного уравнения дается в виде

$$\hbar\nu = \frac{(\hbar\nu_0)^2}{c^4} \frac{\kappa}{r} \left[\left(1 + \frac{c^2 r^2}{\kappa^2 (\hbar\nu_0)^2} \right)^{1/2} - 1 \right].$$

Разлагая первый член скобки в ряд (велико ν_0), получаем

$$\hbar\nu = \frac{rc^4}{2\kappa}$$

или

$$\lambda r = \frac{2\hbar\kappa}{c^3}.$$

Предельно большие частоты ν_0 выпадают из соотношения.

В этом случае масса черной дыры могла бы запулиться, если $\lambda_{\max} \rightarrow \infty$.

Но $\lambda_{\max} \leq r = \lambda_{\max}$, поэтому мы можем написать

$$\lambda_{\max}^2 = \frac{2\hbar\kappa}{c^3}$$

$$\frac{\hbar\nu}{c^2} = m_{\min} \sim \sqrt{\frac{2\hbar c}{\kappa}}.$$

Мы снова получаем выражение для массы максимона.

Если эти соображения имеют отношение к действительности,

то масса классического заряженного фридмона $m_\phi \sim \sqrt{\frac{c^2}{\kappa}} \sim 10^{-6} \text{ gr.}$

в квантовой области увеличивается из-за нулевых колебаний до $\sim 10^{-5} \text{ gr.}$

Конечно, более корректное рассмотрение покажет убедительность или ошибочность приведенных оценок.

ЛИТЕРАТУРА

1. К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 3.
2. Платон. Государство.— Платон. Сочинения, т. 3, ч. 1. М., 1974.
3. Дени Дидро. Избранные философские произведения. М., 1941.
4. К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 20.
5. Нильс Бор. Избранные труды, т. II, М., 1971.
6. Лукреций. О природе вещей. М., 1946.
7. Леонард Эйлер. Письма о разных физических и философических материях, ч. II. СПб., 1772.
8. Э. Ферми. Лекции по атомной физике. М., 1952.
9. Сэр Исаак Ньютон. Оптика. М.—Л., 1927.
10. Джеймс Кларк Максвелл. Речи и статьи. М.—Л., 1940.
11. М. Планк. От относительного к абсолютному. Вологда, 1925.
12. D. Hilbert. Die Grundlagen der Physik (1 Mitteilung).—«Gött. Nachrichtung», Nov. 1915.
13. David Hilbert. Gesammelte Abhandlungen. B. 3. Grundlagen der Physik. Berlin, 1935.
14. М. В. Ломоносов. Полн. собр. соч., т. I. М.—Л., 1950.
15. Ф. Дайсон. Новаторство в физике.— В кн.: Над чем думают физики, вып. II. М., 1963.
16. М. А. Марков. Нейтрино. М., 1964 (препринт на англ. языке. Дубна, 1963, P.—1269).
17. Н. Н. Боголюбов, В. С. Владимиров, А. Н. Тавхелидзе. Об авторской модели асимптотики в квантовой теории поля. Дубна, 1972.
18. Henry W. Kendall, Wolfgang Panofsky. The Structure of the Proton and Neutron.—«Scientific American», 1971, v. 224.
19. J. D. Bjorken.—«Phys. Rev.», 1966, v. 148.
20. Д. И. Блохинцев. Сборник работ, т. 2. Дубна, 1958.
21. А. Комар.—«Nucl. Physics», 1958, v. 9.
22. G. Mie.—«Ann. d. Phys.», 1912, B. 37.
23. G. Mie.—«Ann. d. Phys.», 1912, B. 39.
24. G. Mie.—«Ann. d. Phys.», 1913, B. 40.
25. G. Watagin.—«Zs. f. Phys.», 1934, B. 88.
26. M. Born.—«Proc. Roy. Soc.», 1938, v. 165, p. 291.
27. М. А. Марков.—«Журнал эксперим. и теор. физики», 1940, т. 10.
28. М. А. Марков.—«Журнал эксперим. и теор. физики», 1946, т. 16.
29. W. Pauli.—«Helv. Phys. Acta», 1956, Suppl. 4.
30. L. D. Landau. Niels Bohr and Development of Physics, edited by W. Pauli. Pergamon Press, London, 1955.
31. N. Bohr, L. Rosenfeld Kgl. Danske Videnskab. Selskab. Mat.—Fys. Medd. 12, N. 8, 1933.
32. В. К. Фредерикс и А. А. Фридман. Основы теории относительности, вып. 1. Л., 1924.
33. Аристотель. Метафизика. М.—Л., 1934.
34. М. А. Марков.—Progress of theor. Physics, Supplement, Commemorative Issue for 30th Anniversary of the meson theory by D-r H. Yukawa, 1965.
35. Д. Чу. Кризис концепции элементарности в физике.— В кн.: Будущее науки. М., 1968.
36. М. А. Марков. Элементарные частицы предельно больших масс (кварки и максимены).— В кн.: Физика высоких энергий. Киев, 1967.
37. М. А. Марков. О возможном космологическом подходе к теории элементарных частиц.—«Труды Межд. семинара по теории элементарных частиц. Варна. Болгария». Дубна, 1968.
38. М. А. Марков, В. П. Фролов.—«Теоретическая и математическая физика», 1970, т. 3.
39. М. А. Markov.—«Ann. of Phys.», 1970, v. 59.
40. R. Ruffini, J. A. Wheeler. Relativistic Cosmology and Space Platforms.— In: Proceedings of Conference on Space Physics, ESPO, 1970.
41. S. W. Hawking.—«Phys. Rev. Lett.», 1971, v. 28.
42. М. А. Markov.— In: Gravitation, Radiation and Gravitational Collapse. C. Dewitt-Morette, ed. London, 1974.
43. S. W. Hawking.—«Nature», 1974, v. 248.
44. J. A. Wheeler.—«Phys. Today», 1971, v. 24.
45. М. А. Марков. Глобальные свойства вещества в коллапсированном состоянии (Черные дыры).—«УФН», 1973, т. 111.
46. G. Preparata.—«Phys. Rev.», 1973, D7.
47. R. Gatto and G. Preparata.—«Phys. Rev.», 1973, D9.
48. A. I. Sanda.—«Phys. Rev.», 1974, D9.
49. М. А. Марков.—«Журнал эксперим. и теор. физики», 1966, т. 51.
50. К. П. Станюкович.—«Доклады АН СССР», 1966, т. 168, № 4.
51. L. Motz.—«Nuovo Cim.», 1972, 12B.
52. J. Sarfatti.—«Nature Phys. Sci.», 1972, v. 240.
53. S. Hawking.—«Mon. Not. R. astr. Soc.», 1971, v. 152.
54. М. А. Марков. О понятии первоматерии.—«Вопросы философии», 1970, № 4.
55. М. А. Марков, В. П. Фролов.—«Теоретическая и математическая физика», 1972, т. 13.
56. A. Parapetrou.—«Proc. Roy. Irish. Acad. Sec.», A, 1947, v. 51.
57. J. Bekenstein.—«Phys. New.», 1973, D. 7.
58. C. Teitelboim.—«Lettere Nuovo Cim.», 1972, v. 3.
59. J. Hartle.—«Phys. Rev.», 1971, D. 3.
60. T. Regge.—«Nuovo Cim.», 1958, v. 7.
61. D. Blokhintsev.—«Nuovo Cim.», 1960, v. 16.
62. Р. А. Асанов и М. А. Марков.—«Письма ЖЭТФ», 1967, т. 5.
63. «Успехи физических наук», 1965, т. 86, вып. 4.
64. Status of the Project for European 300 Gev. Proton. Synchrotron.
65. F. Dayson. The Future of Physics.—«Phys. Today», 1970, v. 23.
66. В. Л. Гинзбург.—«Успехи физических наук», 1971, т. 103, вып. 1.
67. Л. А. Арцимович.—«Природа», 1972, № 9.
68. F. T. Cole. The next generation of High-Energy Physics.—«New Scientist», 1971, v. 51, N 767.
69. Ph. W. Anderson. Are the big Mashines necessary?—«New Scientist», 1971, v. 51, N 767.
70. E. V. Bunkin et A. M. Prokhorov. The Interaction of Electrons with High Intensity Optical Radiation, Commemorative Volum Honouaring Prof. Kastler. Paris, 1968.
71. П. И. Фомин, В. И. Трунгень.—«Ядерная физика», 1969, № 9.
72. B. Dewitt.—«Phys. Rev. Lett.», 1964, v. 13.
73. М. Марков.—«Nucl. Phys.», 1956, B. 10.
74. Е. Фрадкин и Г. Вильковский.—«Phys. Rev.», 1973, v. D8.
75. S. W. Hawking.—1975, Preprint OAP—412.
76. М. А. Марков.—Гипероны и К-мезоны. М., 1958.

СОДЕРЖАНИЕ

От автора	3
О природе физического знания	5
Квантовая теория	9
О физических понятиях	15
Принцип дополнителъности	19
Познающий субъект как макроскопический прибор	24
Физический прибор	27
«Модельные» или «немодельные» представления	29
Роль математики	34
Макроскопическая форма нашего знания	38
Деление на субъект и объект	42
Понятие физической реальности	43
Дает ли квантовая теория «полное» описание физической реальности?	48
О форме и содержании нашего знания	53
Возможно ли отображение микромира в иных понятиях, чем понятия классической механики?	56
Современная физика и идеализм	61
О современной форме атомизма (о понятии элементарной частицы)	67
Исторические аналогии	67
Понятие элементарной частицы в современной физике	73
О современной форме атомизма (о будущей теории элементарных частиц)	89
Формфакторы и полные сечения слабых и электромагнитных взаимодействий	111
Заклучение	116
О понятии первоматерии	131
Понятие «состоит из...»	136
Замкнутая иерархия форм материи	144
О кварках, партонах и возможном глобальном бутстрэпе	151
Макро-микросимметрическая Вселенная	159
Будущее науки (Ускорители элементарных частиц следующих поколений)	172
Вчера, сегодня и завтра микрофизики	184
Удорожание наук	204
Приложение А	209
Приложение Б	210
Литература	214