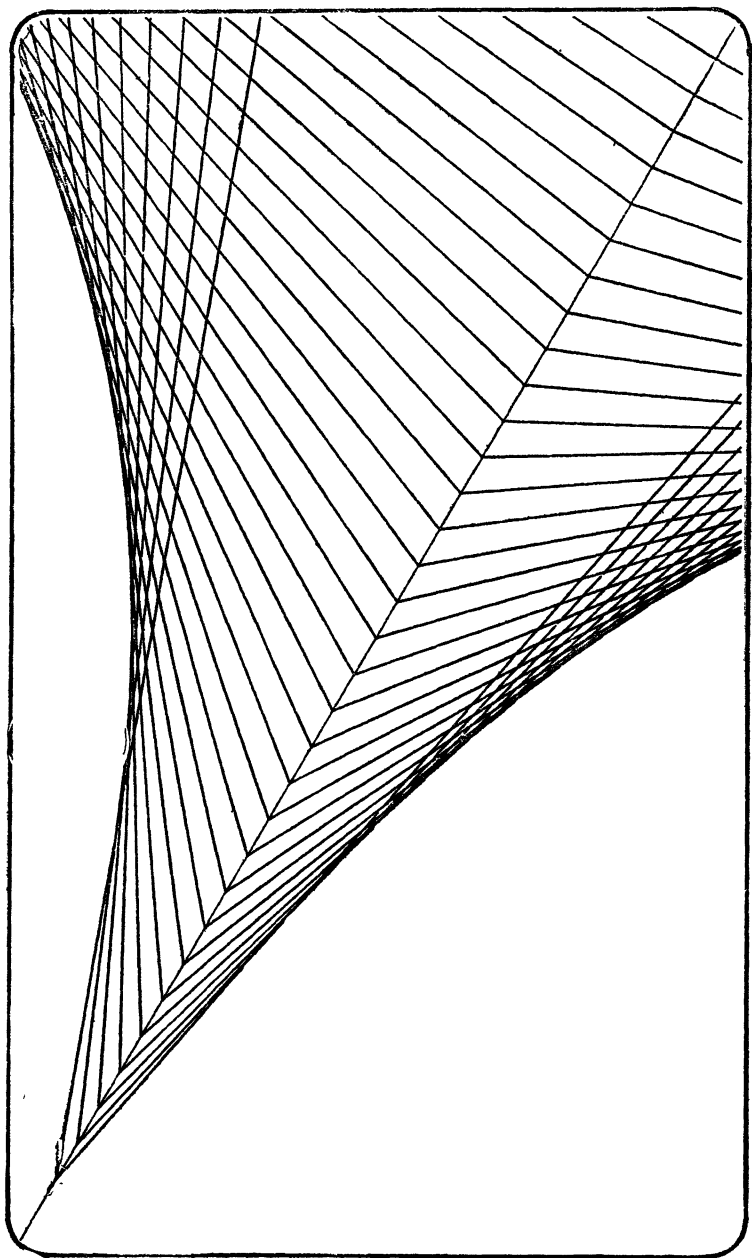


**ЖИЗНЬ
ЗАМЕЧАТЕЛЬНЫХ
ИДЕЙ**



Роман Подольный

НЕЧТО ПО ИСКЛЮЧЕНИЮ НИЧТО

ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЗНАНИЕ
МОСКВА
1983

ББК 22.38

П44

Рецензенты: Наан Г. И., академик АН Эстонской ССР;
Киржниц Д. А., доктор физико-математических наук,

Подольный Р. Г.

П44 Нечто по имени Ничто.— М.: Знание, 1983.—
192 с.— (Жизнь замечательных идей).

65 к.

100 000 экз.

Эта книга — о пустоте, но, конечно, не в ее житейском толковании, а о той, которую физики называют латинским словом «вакуум».

Оказывается, у физического понятия «вакуум» интересная и драматическая история, начавшаяся еще в античные времена. Через знаменитое «природа боится пустоты» древних, ставшее на долгие века непреложной истиной, через эфир классической физики автор доводит свой рассказ до наших дней — до современных представлений о роли физического вакуума в теории элементарных частиц, картине мироздания в целом.

Книга научно-художественная, для широкого круга читателей. Удостоена премии на конкурсе издательства «Знание» в 1982 г.

П 1704070000—036 28—83
073(02)—83

ББК 22.38

530.4

© Издательство «Знание», 1983 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Перед вами научно-художественная книга, посвященная истории взглядов человечества на пустоту — на то, что теперь называют физическим вакуумом. Сейчас мы знаем, что свойства вакуума значительно богаче, чем свойства любого другого известного науке вида материи. В вакууме существуют разнообразные поля, частицы и многое другое. И чем больше мы узнаем о вакууме, тем сложнее он нам кажется.

Свойства окружающего нас мира в большой степени определяются свойствами вакуума. Можно сказать, что законы физики «начертаны на вакууме». Другое дело, что мы еще не знаем досконально, как именно они там запечатлены, лишь кое-что известно нам достоверно, об остальном можно строить только догадки, более или менее правдоподобные. Но уже ясно, например, что именно в силу свойств вакуума абсолютно одинаковы все электроны, как и все протоны, и любые другие частицы определенного сорта.

В популярных книгах о науке часто пишут о вещах, известных твердо и навсегда. Читатель идет по асфальтированной дороге, проложенной на известной до тонкостей местности.

Книга, которая лежит перед вами, посвящена переднему краю наших знаний и еще плохо разведанной территории перед ним. Мы не можем быть уверены, что добытые «разведданные» безукоризненно правильны и даже что положение фронта нанесено точно. Но не будем и преуменьшать собственные знания: многое на карте показано верно и останется на ней навсегда. Не случайно некоторые успехи в теории вакуума были отмечены в последние годы Нобелевскими премиями.

Книга излагает историю взглядов, развитие идей, нередко находящихся еще в процессе становления. Конечно, читать такую книгу труднее, но, по-моему, интерес-

нее. Обращение к темам такого рода имеет тем более важное значение, что популярная литература, предназначенная по своей сути прежде всего для молодежи, может и должна писать о «горячих точках» науки, не только о том, что сделано, но и о том, что еще предстоит сделать.

Думаю, книга удалась. Полагаю, она окажется интересна и для профессионалов — ученых и инженеров. В наш век узкой специализации тем более необходимы книги общего плана, расширяющие кругозор, они позволяют взглянуть как бы со стороны и по-новому даже на хорошо знакомые вещи, что полезно, между прочим, и для решения узкоспециальных задач.

Книга отлично демонстрирует связь прошлого, настоящего и будущего науки. Такой исторический подход особенно необходим, когда, как в данном случае, речь идет о новой области знаний, где многое еще не устоялось. Если мы сейчас кое-что можем сказать о том, каков он, вакуум, каковы его свойства, то очень далеки еще от ответа на вопросы, как конкретно он устроен и почему он именно такой.

От предисловия обычно ждут, что в нем более строго, чем в книге, будет изложена научная сторона дела. В данном случае это ожидание не оправдывается: диапазон разногласий по проблемам вакуума, как вы увидите по книге, достаточно велик, а навязывать читателю собственное мнение по тем или иным конкретным научным вопросам автор предисловия не в праве.

Читатели, которые откроют эту книгу еще раз лет через десять—пятнадцать, уже будут знать кое-что о том (может быть, и по учебникам), кто, в чем и в какой степени оказался прав или неправ.

Добавлю еще, что автор поставил перед собой крайне сложную задачу: написать доступную широкому читателю книгу о том участке науки, который плохо поддается популяризации — уже потому, что физики в этой области пользуются почти исключительно языком математики. Трудности «перевода» тут неисчислимы. С большим удовольствием отмечу, что автор с ними прекрасно справился.

М. Е. ГЕРЦЕНШТЕЙН,
доктор физико-математических наук

Вполне возможно, что какие-то ошибки ускользнули от меня и еще ожидают пронизательного взгляда какого-нибудь критически настроенного читателя. Я надеюсь, что радость открытия ошибок и испытанное при этом чувство интеллектуального превосходства над автором в какой-то мере вознаградят счастливца за потерю времени и беспокойство, которое могло доставить ему внимательное чтение этой книжки.

Льюис КЭРРОЛ

Мефистофель — Фаусту:
— Достаточно ль знаком ты с пустотой?

Иоганн-Вольфганг ГЕТЕ

ОБРАЩЕНИЕ К ЧИТАТЕЛЮ

Энтузиасты океанологии давно предлагают называть нашу планету не Земля, а Вода. И ссылаются на то, что суша занимает только двадцать два процента земной поверхности. Но если этот принцип решительно применить и развить в свете, так сказать, данных о строении материи, то всю нашу Вселенную следует звать Вакуумом. И дело даже не в том только, что бесчисленные солнца и планеты — всего лишь крошечные островки в океане межзвездного «почти вакуума». Не менее важно, что и в самих звездах и планетах, в каждом их атоме плотное ядро и окружающие его электроны тоже окружены вакуумом, погружены в него.

И эта вездесущая среда, по старинке зовущаяся вакуумом, то есть пустотой, «ничем», — отнюдь не просто вместилище привычного для нас вещества во всех его формах и разновидностях. Вакуум влияет на то, что он окружает. Впрочем, «влияет» слово здесь слишком слабое. Ученые знают теперь, что и наблюдают-то они в экспериментах по физике элементарных частиц результат взаимодействия этих частиц между собой и с вакуумом.

Как известно, свойствами элементарных частиц определяются характеристики атомов, особенности атомов задают план, по которому строятся молекулы, строение и форма атомов и молекул отражаются в свойствах тел макро- и мегамира вплоть до устройства Галактики и самой Вселенной. Но все это мироздание, этажи которо-

го так тесно связаны, построено в известном смысле на фундаменте, имя которому — вакуум.

Значит, многие законы, управляющие нашим миром, диктуются в конечном счете тем, что называют симметриями вакуума.

Больше того, сами элементарные частицы нередко рассматриваются как порождение вакуума, как его возбуждения. В его же глубинных свойствах, вероятно, таится ответ на многие загадки пространства и времени. Возможно, сами пространство и время можно назвать формами существования вакуума, если учесть всю значимость роли физического вакуума для мира.

История развития Метагалактики — это история развития вакуума. Ключ к многим, очень многим проблемам и прошлого, и настоящего, и будущего Вселенной есть надежда отыскать в том, что до сих пор именуется латинским словом «вакуум». И надеюсь, вы теперь вместе с автором удивитесь знакомому переводу этого латинского термина: пустота, то есть ничто.

Сегодняшняя наука, исследующая микромир и космос, физика твердого тела так же, как физика элементарных частиц, ядерная физика, как и теория тяготения, с разных сторон, но с одинаковой неизбежностью приходят к необходимости учитывать — а значит, исследовать — свойства вакуума как особой и чрезвычайно важной разновидности материи. Радиофизик и ядерщик, историк науки и исследователь сверхпроводимости с одинаковой убежденностью говорили автору, что одно из самых интересных и многообещающих направлений в современной физике — изучение вакуума, что здесь, возможно, будут найдены решения множества ее проблем, что научный прогресс должен сопровождаться все более глубоким пониманием того, что есть на самом деле это великое Нечто по имени Ничто.

В развитии науки исследуемые ею факты связываются законами, явно или неявно опирающимися на фундаментальные научные понятия. А с самого начала Науки в число этих немногих важнейших понятий вошла и пустота. Она занимала острый ум Аристотеля, мучила Декарта, тревожила Галилея, беспокоила Ньютона. Представление о ней менялось вместе с изменениями представления о мире в целом, но всегда играло важнейшую роль в картине мироздания, даже тогда, когда считали, что пустота невозможна.

Бесполезных открытий не бывает! Нельзя говорить ученому: прекрати свои поиски, потому что сегодня они не нужны... Отбрасывая с пренебрежением исследования, которые сегодня кажутся отвлеченными, но направленные на разгадывание тайн природы, на воспроизведение ее явлений, мы рискуем слишком много потерять, ибо вслед за познанием неведомых сил природы всегда идет овладение этими силами.

Михаил ЛАВРЕНТЬЕВ

Осознание глубинных научных проблем играет чрезвычайно большую роль в понимании человеком картины мира, в выработке правильного мировоззрения. Проблема пустоты — одна из самых общих и широких. Она принадлежит, несомненно, к числу тех общих вопросов, без решения которых ученый, по определению Ленина, обречен спотыкаться на вопросах частных. Как часто понятие пустоты служило и служит пробным камнем и даже главным полем приложения физических гипотез и теорий! Сегодняшние подходы к пустоте принципиально важны и поучительны не только для философов и физиков.

Чрезвычайно интересна и ее история — «история пустоты». Интересна и полезна сама по себе. Но, сверх того, развитие во времени научных представлений о природе пустоты отлично характеризует пути человеческого познания, оно может служить моделью появления все новых важных решений в любой области физики, более того, в любой области науки.

Здесь с поразительной отчетливостью видна историческая преемственность в поступательном движении науки, духовное родство исследователей, разделенных веками и тысячелетиями, связь времен, поддерживающая единство человечества.

Конечно, вы не найдете в этой книге «всю правду о вакууме». Не только потому, что эта «вся правда» науке еще неведома. И даже не потому, что для изложения уже известных результатов, глубоких теорий и обгоняющих время гипотез потребовалась бы целая библиотека — тысячи научных работ так или иначе затрагивают проблему вакуума.

«Всей правды» здесь не уместишь прежде всего потому, что вакуум — это не только одна из самых интересных, но (лучше сказать: следовательно) одна из

самых сложных областей. Здесь же, в книге, обращенной не к физикам и математикам, надо рассказывать о ней без формул и уравнений, сводя к минимуму число терминов и деталей в описании экспериментов. Чтобы действительно понимать современную физику, надо знать математику — язык, на котором, как обнаружил еще Галилей, природа говорит с человеком. Между тем в книге, которую вы открыли, найдутся только две-три фразы из этого языка, и все они — общепонятные.

Философия написана в той величественной Книге, которая постоянно открыта у нас перед глазами (я имею в виду Вселенную), но которую невозможно понять, если не научиться предварительно ее языку и не узнать те письмена, которыми она начертана. Ее язык — язык математики, и письмена эти суть треугольники и другие геометрические фигуры, без которых невозможно понять в ней ни единого слова...

Галилео ГАЛИЛЕИ

Триста с лишним лет назад Королевское научное общество Великобритании, английская академия наук, избрало себе знаменательный девиз: «Ничего словами». Это — кратчайшее программное изложение исследовательских принципов естествознания.

Доказывать правоту своих взглядов ученые должны делом, практикой, экспериментом. Огромную и с каждым десятилетием все более ответственную роль стали при этом играть математические расчеты, нередко выступающие в качестве «мысленных экспериментов», «потому что все оттенки смысла умное число передает», как сказал когда-то поэт. Во многих современных работах по физике, хорошо это или плохо, слова играют роль чуть ли не знаков препинания, отделяющих одни системы уравнений от других, или союзов, связей, соединяющих между собой уравнения. (Но выводы, резюме все-таки излагают словами!)

При популярном рассказе о науке девиз рассказчика прямо противоположен девизу Королевского общества да и всех точных наук. «Только словами» — вот что впроку написать на своем щите тому, кто решился выступить в роли популяризатора науки.

Человеку, открывающему эту книгу с надеждой все узнать, я могу лишь посоветовать тут же закрыть ее. Даже то, что наука знает, одними словами не расска-

жешь. А ведь она еще и очень многого не знает. Вы не найдете в этой книге и точных доказательств, что с уже известным в природе дело обстоит именно так, как описано. Словами тут ничего не докажешь. Доказывают экспериментами и расчетами. Здесь нельзя поместить вслед за точнейшим изображением прибора детальнейшее описание опыта, которое одно только могло бы убедить (или не убедить...) специалиста, что все сделано правильно. Точно так же нельзя на этих страницах слить ручейки математических формул в полноводные реки научно изложенных теорий. Но все это можно найти в книгах и статьях, обращенных к тем, кто знает достаточно, чтобы узнать еще больше, к тем, кто умеет переводить с листа написанное на универсальном языке природы.

Перед вами же сейчас — не учебник и не научная монография. Я обращаюсь к тем, кто хочет не столько выяснить детали, сколько понять главное: ход и закономерности развития человеческой мысли, обращенной к проблеме пустоты—эфира—вакуума; принципиальные различия в решении этой проблемы на протяжении истории; выводы науки, основанные на экспериментах и расчетах; наконец, человеческую сторону в познании физической реальности. Все это можно, как мне кажется, передать только словами. Мало того, передать это и можно только словами, никак иначе.

В науке больше, чем в каком-либо другом институте человечества, необходимо изучать прошлое для понимания настоящего и господства над природой в будущем.

Джон БЕРНАЛ

СУЩЕСТВУЕТ ли ПУСТОТА

Физика — наука не только точная, но и историческая. Не в том одном лишь дело, что, по определению Карла Маркса, «мы знаем только одну науку — науку истории», и стоит всегда помнить этот призыв видеть все в мире — в движении и развитии. Не менее важно, что сама физика как наука хранит немало следов долгого пути через столетия.

Даже привычная терминология сегодняшней науки на каждом шагу свидетельствует об умении ее быть благодарной прошлому, уверенно поддерживать великую связь времен. В космос (по-древнегречески — Вселенную) взлетают астронавты (по-древнегречески — звездоплаватели) с Земли, своей планеты (по-древнегречески — блуждающей), и вакуум (по-латыни — пустоту) исследуют физики (по-древнегречески — изучающие природу) с помощью математики (по-древнегречески — учения через размышление).

Даже науки, созданные в XX веке, получают громкие эллинские названия, вспомните хотя бы кибернетику и биогеохимию.

Давно погибшие античные цивилизации все еще обогащают культуру. Великие языки, латынь и древнегреческий, не забыты.

Те, кто говорил и писал на этих языках, часто задумывались над вопросами, которые волнуют нас и сегодня. Уровень ответов был другой — так что поделаешь! Всякое начало трудно. Зато, как библейский Адам, учение древности первыми дали имена стольким вещам... Вот мы и повторяем за ними: атом, поэзия, история, география, философия...

И понятие пустоты ввели в обиход древние греки. Называли они ее «кенон». Да вот не прижилось в науке это слово. Вытеснил его латинский «вакуум». Почему? Причин, наверное, было немало. Может быть, сыграла свою роль даже такая на первый взгляд маловажная вещь, как звучание слова.

Разумеется, между смыслом слов и их звучанием связей прямых и даже косвенных по большей части нет. И все-таки иногда взаимозависимость значения и сочетания звуков удается проследить. Это выяснили экспериментально: в большинстве случаев люди точно распознают, например, какое из двух услышанных слов незнакомого языка обозначает «тяжелый», а какое — «легкий».

Вот цитата из статьи кандидата медицинских наук Л. А. Китаева-Смыка: «В древних восточных системах звуки «у» или «оу» символизируют пустоту, исчезновение, отрицание. Произнося этот звук, человек должен представить, что у него во рту образуется полость, дно которой как бы опускается все ниже и ниже. Этот прием, видимо, призван способствовать «исчезновению» переживаний, успокаивать нервную систему».

Трудно не обратить внимания на то, что и в русском слове «пустота» и в латинском слове «вакуум» звук «у» играет немаловажную роль.

Случайно ли это? Не буду, как Роман Ойра-Ойра из повести-сказки А. и Б. Стругацких «Понедельник начинается в субботу», исследовать связи «между сверлящими свойствами взгляда» (способного — по повести — продырявить бетонную стену.— Р. П.) и филологическими характеристиками слова «бетон». Должен только отметить, что по-китайски «пустота» — куншу, а по-японски — ку:со или ку:ке. Зато во множестве других языков звук «у» в слове, обозначающем пустоту, отсутствует. Так что фонетическая версия, боюсь, не проходит.

Может быть, все дело в том, что большинство древних греков, как вы скоро увидите, считало невозможным самое существование пустоты. Так стоило ли науке сохранять термин, коим обозначали то, чего не может быть?

...Многое в этом мире пришлось открывать человеку. Пустоту — так же, как и воздух.

Воздух, разумеется, открыли на несколько столетий раньше. Его ввели в число элементов, образующих мир, объявили одной из четырех стихий вместе с водой, землей и огнем. Каждая вещь на свете для древних философов была сложена из частиц одной или сразу нескольких этих стихий.

Потом перед греческой философией встал вопрос: может ли найтись место, где нет ни земли, ни воды, ни воздуха, ни огня, возможна ли настоящая, доподлинная пустота? Для древних спросить — значило непременно попытаться тут же ответить решительно и почти всегда категорически.

Среди великих вещей, которые находятся вне нас, существование «ничто» — величайшее.

Леонардо да Винчи

Левкипп и Демокрит в своем V веке до н. э. пришли к категорическому выводу: все в мире состоит из атомов и разделяющей их пустоты. По Демокриту, разрезать кусок хлеба, вонзить лопату в землю, шагать сквозь воздух и плыть по реке можно только потому, что вы рассекаете пустоту между атомами — сами-то атомы неделимы. Только благодаря пустоте, получается, возможны комбинации атомов, образующие море и облака, камни и деревья, тела животных и людей. Лишь она открывает путь движению, развитию, вообще любым изменениям. Так что пустота играла ничуть не меньшую роль в Демокритовой картине мироздания, чем та, которую в нашей играет физический вакуум.

Изыщным и простым было решение, предложенное Демокритом, — недаром же этого философа помнят уже два с половиной тысячелетия, а в XX веке его объявили своим предтечей создателя квантовой механики, как до них, на рубеже этого века, сделали то же самое родоначальники атомной физики.

Вот какие слова Карл Маркс выписал из Аристотелевой «Метафизики»: «Левкипп и его сотоварищ Демокрит признают элементами *полное* и *пустое*, называя, например, одно *сущим*, другое же *небытием*, а именно: *полное* и *твердое*» (т. е. атомы) «*сущим*, а *пустое* и *разреженное* — *небытием*. Поэтому они и говорят, что бытие существует отнюдь не более, чем *небытие*... Причиною же вещей является то и другое как материя».

Пустота, обратите внимание, тоже признается материальной. Пустота служила и для объяснения, почему одни вещества тяжелее, другие легче. В последних-де она занимает больше места.

Но в маленькой Древней Греции было много глубоких философов. Одни из них открывали пустоту, другие закрывали ее. Как Эмпедокл, провозгласивший: «Нет на свете нигде пустоты — и откуда ей взяться?»

Учение о невозможности пустоты — необходимая часть мировоззрения Эмпедокла, утверждавшего цельность и полноту мира, закономерное его развитие.

Впрочем, не он был первым из древних борцов против пустоты. Пустота есть небытие, твердили и до него (и после него), Небытие, как казалось части философов, не только существовать не может, его даже представить себе человек не в состоянии. Словом, пустоты не только нет, но и думать о ней невозможно.

Аристотель, князь мудрецов, как его именовали на протяжении тысячелетий, держался иного мнения — иного в том лишь смысле, что представить себе пустоту все-таки можно. Найти ее в мире нельзя. С одной стороны, считал великий грек, «...дело физика — рассмотреть вопрос о пустоте, существует она или нет, и в каком виде существует или что она такое...». С другой же стороны, нет в мире места, где нет ничего, нет такого места и не может быть. Почему? В ход идет логика. Если бы существовала пустота, то в ней все тела, тяжелые и легкие, камни и перья падали бы на Землю с одной и той же скоростью, а ведь это невозможно.

Правда, странно? Посылка верная, а вывод из нее ложный, и это у самого основателя науки логики! Понадобились две тысячи лет и гений Галилея, чтобы привести посылку и вывод в соответствие друг с другом.

В пустоте — другой довод Аристотеля — стала бы возможна бесконечная скорость, поскольку движение не встречало бы сопротивления. Между тем, категорически утверждает великий философ, бесконечная скорость в принципе не может существовать.

Значит, не может быть и пустоты.

Пусть эти рассуждения не покажутся вам наивными. Двадцать три века шли вокруг них научные споры. И, по мнению П. Кудрявцева, автора большого курса «Истории физики», только Эйнштейн смог решить эту поставленную Аристотелем проблему, поскольку он «ари-

стотелевский принцип невозможности бесконечно большой скорости совместил с допущением пустоты, приняв в качестве предельной скорости скорость света в вакууме».

Как видите, физика оказывается исторической наукой и в том смысле, что на решение иных ее проблем, к тому же часто не окончательное, уходят целые эпохи, что мы и сегодня ищем ответы на вопросы, заданные больше двух тысячелетий назад.

Один из крупнейших ученых нашего века Альберт Сент-Дьердьи передавал не только свое личное ощущение, когда писал: «Для меня наука — прежде всего сообщество людей, которые не знают преград во времени и пространстве. Я живу в коллективе, членами которого являются Ньютон и Лавуазье... Основные моральные принципы этого сообщества просты: взаимное уважение, интеллектуальная честность и добрая воля».

(О том, когда именно зародилась наука, спорят, и спорят много. Одни возводят ее происхождение к палеолиту, древнему каменному веку, другие склонны считать, что наука родилась лишь в XIX столетии. Это, понятно, крайние точки зрения. Наиболее же распространены два мнения: по первому из них наука — детище античности, по второму — плод XVII века. Автор книги придерживается первого из этих мнений. Не будем здесь заниматься методологическими тонкостями, надеюсь, все согласится с тем, что Евклид и Архимед были настоящими учеными.)

Остается добавить, что на аргумент Демокрита (только пустота дает возможность перемещения в пространстве) Аристотель отвечал: при движении тела просто уступают друг другу место. Пример — хотя бы река, где новая вода поступает на место старой, ушедшей дальше по течению. Тут Аристотель, по существу, развивает идеи Платона. В знаменитом платоновском диалоге «Тимей» (знаменитом еще и потому, что в нем рассказывается об Атлантиде) есть такое рассуждение: «Так как нет пустоты, в которую могло бы проникать что-либо движущееся, а дыхание движется у нас наружу, то ясно всякому, что оно выходит не в пустоту, а оттесняет от места то, что находится рядом, оттесняемое же гонит, в свою очередь, соседнее, и в силу такой необходимости все увлекается вихреобразно в то самое место, откуда дыхание вышло, проникает туда и напол-

няет это место и опять следует за дыханием. И происходит это наподобие вращаемого колеса, оттого что нигде нет пустоты». Здесь изложена очень популярная в античные времена теория вихрей, идея, через века с новой силой воскрешенная, как увидите, Декартом.

Самое сильное и, пожалуй, самое глубокое с точки зрения науки XX века возражение Аристотеля против пустоты звучит примерно так. В пустоте не было бы никаких различий: ни верха, ни низа, ни правого, ни левого — все в ней находилось бы в полном покое... А этого быть не может! В пустоте все направления окажутся равноправны, она никак не влияет на помещенное в нее тело. Что же тогда определяет движение этого тела?

В заполненном пространстве, по Аристотелю, особенности среды служат причиной движения, задают его направление.

Словом, даже того немногого, что было сказано во введении к книге о роли во Вселенной вакуума, достаточно, чтобы увидеть физическую злободневность рассуждений великого грека.

Да, древние умели и задавать вопросы и давать ответы на них. А вот с проверкой ответов дело в античности обстояло совсем иначе, чем в науке нового времени. Само исследование законов природы в искусственных условиях казалось древним философам невозможным. Они проводили обычно резкую границу между тем, что создано природой, и собственными созданиями человека, порожденными его трудом и искусством.

Сегодня в науке моделирование природных процессов — один из самых принятых способов их изучения. Для древних ученых (во всяком случае огромного большинства их) идея такого моделирования в принципе была неприемлема: природное, по их мнению, подчинено одним законам, искусственное же — другим.

Не то чтобы они вовсе не проводили экспериментов — Аристотель, например, ставил опыты на животных, — но резко ограничивали область их применения.

Математика если и призывалась изредка на помощь естествознанию, то в формах, с нашей точки зрения, почти всегда наивных. Последователи Пифагора видели ключ к раскрытию тайн мироздания в магическом смысле чисел; ключ, увы, не подходил к замочной скважине.

Над входом в академию Платона было начертано: «Да не войдет сюда тот, кто не знает геометрии». Однако

величайший из «выпускников» этой академии, Аристотель, отвергал саму идею применения математики в науках о природе. Он декларировал: «Точность, именно математическую точность, нужно требовать не во всех случаях, но лишь для предметов, у которых нет материи. Таким образом, этот способ не подходит для науки о природе, ибо природа, можно сказать, во всех случаях связана с материей».

Нам, современникам науки, которая немыслима без «математической точности», странно даже слышать подобные утверждения. Можно подумать, пожалуй, что сама природа Греции и окрестных стран две с половиной тысячи лет назад была иной, чем нынешняя, раз ученые считали невозможным исследовать ее ни с помощью математических методов, ни экспериментально...

На самом деле иным было общество, а не природа. Наука этого общества — в Средиземноморье, как и в Индии, как и в Китае, — изощряла в стремлении к познанию природы прежде всего способы рассуждений, методы спора, логику. По нынешним представлениям, этого мало, ничтожно мало, чтобы хоть что-то истинное узнать о природе... И тем более поразительно, каких успехов добивались с таким оружием древние греки.

Недостатки человека, как известно, — продолжение его достоинств. Достоинства античной науки были кое в чем продолжением ее недостатков. Тогдашняя научная мысль была в некоторых отношениях раскованнее, чем когда бы то ни было потом. Она стремилась к пониманию мира в большей степени, чем к его преобразованию. В этом смысле наука древних была свободней современной, как ребенок свободнее взрослого. Ученым не приходилось с прискорбием сообщать коллегам: «К сожалению, расчеты не подтвердились...» Расчеты и опытов-то почти не делали. Расчеты еще плохо умели производить. А когда опыт все-таки ставили, то — повторюсь — полагали, как правило, что это одно дело, а то, что происходит в природе, — совсем другое. Крайне мало было таких, характерных для последних столетий случаев, как «убийство прекрасной теории безобразным фактом».

И, уж конечно, при такой-то свободе наука открывала поразительный простор для того, что в искусстве принято называть самовыражением. Вот Герон Александрийский, великий ученый и изобретатель II века

до н. э., создатель первой «паровой турбины», автоматов для продажи священной воды, творец многих других замечательных вещей, полагал, следуя за Аристотелем, что в природе пустоты нет. Но зато ее можно получить искусственно, в замкнутом пространстве. Опять-таки в конечном счете по Аристотелю: созданное человеком подчинено иным законам, чем созданное природой.

Впрочем, тут надо оговориться. Герон все это утверждал относительно сплошной пустоты. Пустоту же рассеянную, пустоту, отделяющую друг от друга мельчайшие частицы, Герон считал реально существующей, «подобно тому, как воздух существует между частицами песка на морском берегу». Историки полагают, что эта позиция Герона опиралась прежде всего на работы древнегреческого философа III века до н. э. Стратона, ученика учеников Аристотеля.

Диоген Лаэртций, историк античной философии, живший на рубеже II—III веков н. э., в длинном перечне книг Стратона из Лампсака называет и труд «О пустоте». А о самом ученом Лаэртций пишет, что то «был муж, достойный всяческой похвалы, отличавшийся в науках всякого рода, преимущественно же в древнейшем и важнейшем их роде — в физике». За что так и прозвали его — Физиком. По-видимому, именно Стратон подробно разработал учение о двух родах пустоты, пытаясь примирить учение Аристотеля о невозможности пустоты и атомистическое учение, требовавшее наличия пустот между мельчайшими частицами — атомами.

У нашей науки много преимуществ перед древнегреческой, включая такое, как возможность куда быстрее исправлять ошибки. Наши научные заблуждения живут годы, в худшем случае десятки лет, но уж никак не тысячелетия. Прогресс!

Две крайние позиции возможны в отношении исследователя к объекту его исследования — миру. В наше время многократно воспет тот подход, который Эйнштейн охарактеризовал так: удивление — мать познания, наука — бегство от удивления. А вот, по мнению Аристотеля, это «невежда удивляется тому, что вещи таковы, каковы они есть... мудрец удивился бы, будь они иными».

Слова Эйнштейна нам ближе, но отнюдь не только потому, что он жил в одном столетии с нами. Мир поражает нас своим разнообразием; зная о нем больше, чем

было известно когда-либо прежде, мы глубже осознаем бездну незнания, что открывается за каждым вновь обретенным знанием. И нам остается удивляться Аристотелю изречению, но уж от этого удивления бежать не приходится. Потому что и нам, принадлежащим к поколению покорителей космоса, можно позавидовать такой уверенности в силе, более того — всемогуществе разума. Сократ утверждал, будто знает только то, что ничего не знает. Аристотель, ученик его ученика, знает, что он знает. И вот первый из этой противостоящей пары, Сократ, становится в веках «олицетворением философии» (К. Маркс), второй, Аристотель, признается основателем двух десятков наук. В том числе физики, олицетворением которой в наше время стал Эйнштейн.

Так будем убегать от удивления, будем помнить о том, что мы знаем далеко не все, но сохраним гордость за науку, умеющую объяснить, почему в природе дела обстоят именно так, а не иначе, что не случайно «вещи таковы, каковы они есть».

В Науке и сегодня есть место не только человеческому разуму, но и человеческим чувствам. Но в далеком прошлом эти чувства ярко проявлялись не только в жизни людей, взыскующих истины, но и в самой ткани науки, в ее содержании.

Открытия древних греков в отличие от открытий нынешних физиков никак не угрожали своими последствиями существованию человечества. Однако от этого сами открытия не воспринимались менее эмоционально.

Образ пустоты, возможной или невозможной в природе, буквально преследовал, как чудовищный призрак, многих ученых античности и средневековья. Все мы встречали на страницах школьного учебника, популярных книг, в очерках по истории науки выражение «природа боится пустоты», пришедшее из античности в схоластическую науку средних веков. И узнавали, что именно этим страхом объясняли действие вовсе уже применявшихся водяных насосов. На самом-то деле пустоты до поры до времени боялась не природа, а ученые, думая, что следуют ее примеру. Следовали же они тут за Аристотелем. Отказаться от представления о невозможности пустоты было, судя по историческим фактам, труднее, чем признать, что Земля — вовсе не центр мира...

Галилео Галилей, как и Стратон из Лампсака, и Герон, говорил о мельчайших пустых полостях в веществе,

но полагал, что они могут иметь лишь ничтожные размеры: большего природа не потерпит.

Развеять, пусть еще не до конца, «ужас пустоты» смог только XVII век, первое столетие новой — опытной! — науки.

Еванджелиста Торричелли, вдохновленный Галилеем, обнаружил опытным путем, что можно получить пустоту искусственно, и тем самым реализовал возможность, задолго до него предсказанную Героном. Понадобились для этого всего-то сосуд с ртутью и стеклянная трубка, запаянная с одного конца. Набрав ртути в трубку, Торричелли заткнул открытый ее конец пальцем, перевернул трубку и, держа ее запаянным концом вверх, опустил в сосуд; затем отнял палец от отверстия, и часть ртути покинула трубку, остался только столбик высотой (над уровнем ртути в сосуде) примерно 760 миллиметров в сегодняшних мерах длины. Над столбиком была «пустота», на века получившая название торричеллиевой.

Через несколько лет Блэз Паскаль во Франции установил, что столбик ртути в горах ниже, чем на равнине, и что высота его меняется в зависимости от погоды. Он язвительно поинтересовался у сторонников «ужаса пустоты»: неужели природа боится пустоты в горах меньше, чем в долинах, и пугается ее в сырую погоду меньше, чем в ясную?

«...Я утвердился во мнении, — подвел итог своим опытам Блэз Паскаль, — которое всегда разделял, а именно, что пустота не есть что-либо невозможное, что природа вовсе не избегает пустоты с такой боязнью, как это многим кажется».

Стоит заметить, к слову, что теоретическая борьба с пустотой в течение ближайших десятилетий принесла весьма ощутимые результаты для практики. Появление барометра было лишь первым и далеко не самым важным из них. Затем изобрели воздушный насос. Создавали его для получения «пустоты», но оказалось, что от него прямая дорожка вела к паровой машине, преобразившей производство.

Важное место понятие пустоты заняло в классической механике. По Ньютону, небесные тела погружены в абсолютную пустоту. И она всюду одинакова, в ней отсутствуют различия, Фактически Ньютон для обоснова-

ния своей механики привлек то, что Аристотелю не позволяло признать возможность пустоты.

Как отмечает советский философ М. Д. Ахундов, «...в отличие от пустоты Демокрита пустота Ньютона связана с определенной математически оформленной динамикой и наполнена физическим смыслом через законы движения, а ее симметрия (в данном случае ее одинаковость.— Р. П.) ответственна за фундаментальные законы сохранения механики».

Итак, пустота, кажется, восторжествовала, она была обнаружена экспериментально, а затем положена в основу самой влиятельной в течение столетий физико-философской системы. И тем не менее борьба против самой этой идеи продолжалась.

ПЯТАЯ СУЩНОСТЬ

ВМЕСТО ПУСТОТЫ

Высок был авторитет Блэза Паскаля и Ньютона. Однако, как уже не раз бывало, у пустоты снова нашлись противники (далее мы увидим, что в их ряды, случилось, заносило и самого Ньютона).

Главный довод тех, кого не сразил язвительный выпад Паскаля, звучал примерно так: вы говорите, что сосуд пустой, но как же тогда через него могут проходить и свет, и тепло, и магнитная сила? А они проходят! Значит, он не пуст, его заполняет некая материальная среда...

Паскаль удивлялся и иронизировал в том же духе. Вот отрывок из его письма: «Предоставляю Вам, милостивый государь, судить самому: когда не видят и не воспринимают ничего в данном пространстве, кто говорит более обоснованно, — тот ли, кто утверждает, что там что-то есть, хотя бы он там ничего не замечал, или же тот, кто думает, что там ничего нет, потому что он там ничего не видит».

Вся эта история отнюдь не привела к окончательному решению проблемы пустоты. «Король умер. Да здравствует король!» — кричали в те времена при кончине очередного монарха. А здесь все получилось наоборот.

Пустота была открыта. Ее можно было буквально увидеть в длинненькой стеклянной трубочке. Но с этой очевидностью не все пожелали примириться, не все захотели ее признать. «Пустота невозможна!» — один за другим заявили несколько крупнейших ученых. В том числе человек, который сумел, в числе прочего, описать опыт, аналогичный эксперименту Торричелли. И притом сумел точно предвидеть результаты эксперимента. Звали этого теоретика Рене Декарт.

Предсказав открытие пустоты, Декарт затем заявил, что это не настоящая пустота.

Он писал: «Мы считаем сосуд пустым, когда в нем нет воды, но на самом деле в таком сосуде остается воздух. Если из «пустого» сосуда убрать и воздух, в нем опять что-то должно остаться, но это «что-то» мы просто не чувствуем».

В верхней части Торричеллевой трубки тоже не было ни ртути, ни воздуха (на самом деле были пары ртути). Там, по Декарту, было нечто другое. Иногда это «другое», это «что-то» философ называл эфиром.

Кто не слышал слова «эфир»? Но какие несхожие значения оно приобретает в разных ситуациях!

«Эфирное создание», — писали в старинных романах о нежных девушках в похвалу, хоть потом это выражение становится скорее насмешливым.

«Послушаем эфир», — говорим мы, включая радиоприемник.

«Представление об эфире в современной физике заменено...» — сообщает философский словарь.

Так что же это такое на самом деле?

Я впервые упомянул здесь об эфире в связи с именем Декарта. На самом деле у этого понятия богатая история, уходящая своим началом в глубь веков. И нам придется вернуться к древнегреческим философам.

Впрочем, само слово «эфир» не было ими придумано. Его взяли готовеньким из богатого арсенала древнегреческой мифологии.

РОДОСЛОВНАЯ ЭФИРА

У эфира потрясающая воображение родословная, точнее, несколько потрясающих воображение родословных. В древнегреческой мифологии Эфир (с большой буквы) — плод союза подземного мрака — Эреба и великой Ночи. Дитя довольно мрачных родителей — существо воздушное и легкое. Это попросту особый воздух у вершины горы богов Олимпа, воздух, которым дышат Зевс и его родственники, на Олимпе обитающие. Две темные в буквальном смысле слова силы породили особод пригодный для божественного дыхания Эфир. Но на Эфире высокий этот род не закончился. Вступив в брачный союз с Днем, Эфир породил ни более ни менее, как

Землю и Небо, Море и Океан и даже подземный ад древних греков — Тартар. Словом, согласно некоторым мифам почти все в мире обязано своим рождением Эфиру.

Четкой логики не видно, особенно если вспомнить, что Эфир-то — всего лишь воздух у вершины земной горы. Но от мифов ждать логики в нашем смысле и не приходится. Напротив, именно с торжеством логического мышления в европейской культуре оказалось связано крушение древних мифов.

Своего рода объяснением, почему все-таки эфир наделен и такой родословной, и таким потомством, может послужить известное нам по более поздним источникам утверждение Пифагора, что «воздух около Земли — застойный и нездоровый, и все, что в этом воздухе, — смертно, а высший воздух — вечнодвижущийся, чистый, здоровый, и все, что в нем есть, — бессмертно и потому божественно».

Аристотель придал слову «эфир» строго научное значение. Он отрицал, как мы знаем, самую возможность существования пустоты. Что же должно было занять ее место там, где не было ни земли, ни воды, ни огня, ни воздуха? Вот и пришлось ввести пятый элемент мироздания, пятую сущность, пятое начало, которое уже много позже стало называться латинским словом «квинт-эссенция». Эфир был признан Аристотелем и его последователями не просто пятым элементом, равноправным со всеми прочими четырьмя. Нет, его рассматривали как праматерию, сущность всех вещей, основу для всех остальных элементов природы. Аристотель именовал эфир бессмертным и божественным, а имя его расшифровывал как составное, означающее — «всегда текущий».

Само применение слова «эфир» в таком значении было вполне оправдано родственными связями «мифологического эфира». Тот, как вы помните, породил и Землю, и Небо, и Море, не говоря уже обо всем остальном.

Впрочем, у разных древнегреческих философов согласия в том, что такое эфир, не было (да и не все они считали эфир — пятую сущность — действительно существующим). Пифагор называл холодным эфиром воздух, плотным — море и воду вообще; душа для него тоже часть эфира — как теплого, так и холодного, и она

незрима, ибо эфир незрим... Но Пифагор-то ведь жил за целых два века до Аристотеля...

Другой древнегреческий философ, Хрисипп, живший примерно на три столетия позже Пифагора, полагал, что весь мир — живое существо, одушевленное и разумное, а ведущая часть мира — эфир. Но этот эфир, похоже, отождествлялся Хрисиппом с огнем или некоей высшей разновидностью огня, то есть был, скорее, не особым элементом природы, а чем-то вроде подэлемента.

Римлянин Лукреций Кар видел в эфире тонкую материю, состоящую из атомов, как всякая материя, и приводящую своим течением в движение все небесные тела; она же — составная часть души.

Словом, даже соглашаясь относительно того, что эфир как особая субстанция существует и заполняет мировое пространство, ученые с древнейших времен не могли сойтись в определениях этой субстанции. Две с половиной тысячи лет как термин «эфир» входит в научный и околону научный лексикон; за это время мнения относительно его свойств менялись кардинальнейшим образом, и лишь одно из этих свойств оставалось неизменным — способность вызывать горячие споры. Впрочем, он сохранил это свойство и «посмертно»: споры ведь все-таки продолжаются, хотя для современной физики в целом эфир — понятие устаревшее и отжившее.

ОТВЕТ КО ВСЕМ ЗАДАЧАМ

Античность завещала свой эфир средним векам, и в европейской науке этого времени эфир рассматривался, по Аристотелю, как квинтэссенция, пятая стихия, как глубочайшая сущность всего в природе. Великий Франсуа Рабле — не только писатель, но и философ и натуралист — опубликовал свое повествование об исполнении Гаргантюа под таким псевдонимом: Алкофрибас Назье, искатель квинтэссенции. Поиски оной были в ту пору весьма модным занятием, считавшимся куда более достойным истинных философов делом, чем отыскание философского камня. Впрочем, в последнем видели иногда эту самую квинтэссенцию.

Какие шли вокруг тогдашнего эфира дискуссии! схоластичность их не должна вызывать у нас насмешливого отношения; в таких спорах изощрялось умение рассуждать; благодаря средневековым ученым по крайней мере

часть античного наследия была в ходу еще до эпохи Возрождения...

А уж в эту эпоху гуманисты действительно возродили многие ушедшие на время из научного обихода положения древнегреческой науки и пустили их в оборот.

Эфир Джордано Бруно в конце XVI века очень напоминает эфир античности. Это опять тонкая всеобщая материя, все проникающая и все обнимающая. Иногда ученый называл свою всеобщую материю «необъятным воздухом». Эфир в живых существах — то, что называют жизненным духом.

Эфир часто призывается на помощь в тех случаях, когда надо объяснить вновь открытое явление или пересмотреть старые объяснения явлений давно известных. Один из первых исследователей электромагнетизма, придворный врач английской королевы Елизаветы Вильгельм Гильберт, приходит к выводу, что это эфир истекает из наэлектризованных тел и он же распространяет теплоту. Для Галилео Галилея тела существуют и не разваливаются на мелкие составные части прежде всего потому, что их частицы прижаты друг к другу давлением эфира.

Но по-настоящему обновляет гипотезу эфира — по сравнению с античностью — Рене Декарт, борец за пустоту Торричеллиеву и против возможности пустоты просто, пустоты вообще.

Пустоты абсолютной, по Декарту, не может быть, постольку поскольку протяженность есть атрибут, непременный признак и даже сущность материи; а раз так, то всюду, где есть протяженность, то есть само пространство, должна присутствовать и материя.

Материя бывает, утверждал Декарт, трех родов, состоит из трех видов частиц: земли, воздуха (неба) и огня. Частицы эти «разной тонкости» и движутся по-разному. Поскольку абсолютная пустота невозможна, то всякое движение любых частиц приводит на их место другие, и вся материя находится в непрерывном движении, причем образуется великое множество круговоротов-вихрей с самыми разнообразными свойствами (не правда ли, все здесь очень напоминает рассуждение Платона из «Тимея»?).

Из этого следует множество следствий, но главный вывод таков: все физические тела — результат вихревых движений в несжимаемом и нерасширяющемся эфире.

Гипотеза Декарта, очень красивая и эффектная, оказала огромное влияние на развитие науки. Рискну сказать, что это влияние сохранялось и через многие годы после того, как некоторые основные тезисы гипотезы были категорически опровергнуты. Довольно быстро выяснилось, что ее положения во многом не совпадают с тем, что следовало из законов, открытых несколько позже Ньютоном и другими физиками. По Декарту, скажем, Земля должна быть вытянутой вдоль оси вращения, а не сплюсненной, какой ей полагается быть по Ньютону. Проверка показала, что прав Ньютон. Нашлись другие примеры того же рода.

Однако сама идея представить тела (а потом частицы) как некие вихри, сгущения в более тонкой материальной среде оказалась очень живучей, или, скажем лучше, жизнеспособной. И сегодня обсуждаются гипотезы, в которых элементарные частицы рассматриваются как некие вихри, пусть уже не в эфире. А то, что элементарные частицы следует рассматривать как возбуждения вакуума,—сейчас признанная многими научная истина.

Эфир в модификации Декарта довольно быстро ушел с физической сцены прежде всего потому, что он был куда более «философским», чем «физическим», и что это умозрительное изобретение великого француза было призвано объяснить в мире чуть ли не все сразу, наметить все линии, образующие чертеж мироздания.

Физиков же интересовали более «частные» проблемы — такие, как природа тяготения, законы распространения света...

Но и для решения этих проблем так удобно было, казалось, привлечь гипотезу эфира, пусть не в Декартовой, а в модернизированной и приспособленной для решения конкретной задачи форме.

Ученые XVII—XIX веков, принявшие учение об эфире как мировой среде, оказались, однако, с самого начала в очень затруднительном положении. Ведь они в отличие от античных философов и средневековых схоластов были представителями новой науки, опирающейся на громогласно провозглашенный Френсисом Бэконом принцип экспериментальной проверки теоретических положений.

Пифагору, Аристотелю, Хрисиппу, чтобы охарактеризовать эфир, вполне хватало достаточно убедительных,

с их точки зрения, рассуждений. Но могли ли удовлетвориться тем же такие люди нового времени, как Ньютон, Лаплас, Менделеев?

Взгляды Ньютона на эфир, право же, заслуживают особого внимания.

Думать о нем (Ньютоне.— Р. П.), значит думать о его творчестве. Такой человек может быть понят, только если представлять его как сцену, на которой разворачивалась борьба за вечную истину.

Альберт ЭЙНШТЕЙН

Отношения у Ньютона с эфиром были сложные, трудные, даже трагические. Их история — это история как борьбы ученого против самого понятия эфир, так и борьбы за признание этого понятия. Ньютон то утверждал, то отрицал существование эфира как мировой среды. Впрочем, в данном случае говорить просто об отрицании или утверждении — значит очень упрощать дело и смягчать накал страстей. Об урагане не говорят ведь — ветерок. И о пустыне — тихое местечко. Но какие тут сравнения и эпитеты ни подбирай, они могут, поверьте, оказаться недостаточно сильными, чтобы передать глубокую эмоциональность взглядов Ньютона на эфир.

В разное время великий физик занимал три такие основные позиции.

Первая: Солнце, планеты и звезды окружает абсолютное ничто. Это ничто и заполняет собой мировое пространство.

Вторая: пространство заполнено чем-то вещественным, некоей материальной средой; это не ничто, но нечто, о котором все-таки лучше не гадать за отсутствием нужного экспериментального материала («Гипотез не измышляю!»).

Третья: все в мире — пустота между телами, как и сами тела,— пронизано мельчайшими частицами эфира.

«Внутри» этой последней позиции можно выделить две, несколько отличающиеся друг от друга; согласно одной из них (назовем ее «третья альфа») с эфиром связаны тяготение и свет, по «третьей бета» — тяготение к эфиру отношения не имеет, другое дело свет, а также все взаимодействия тел на близком расстоянии и многие важнейшие процессы, идущие во всех живых организмах.

Однако довольно трудно найти строгую, сколько-нибудь закономерную последовательность, какой-то порядок, хотя бы хронологический, в том, как великий ученый занимал и менял такие позиции в течение долгой своей жизни. Он принимал ту или иную идею, потом отбрасывал, потом возвращался к ней снова, опять сам же находил новые возражения... Вот уж кто никак не мог бы послужить прототипом для нынешнего «киноученого», одержимого единой мыслью, лишенного сомнений и достигающего цели вопреки критике и сомнениям окружающих. Критики-то Ньютон боялся так, что подолгу медлил с публикацией самых замечательных своих работ, а сомневаться в собственных идеях умел порой не хуже других.

1672 год... Ньютон предлагает лондонскому Королевскому обществу мемуар «Новая теория света и цветов», который историки науки склонны считать первым, не очень определенным выступлением ученого в пользу представлений о свете как о потоке неких материальных частиц. Зато современник и ярый противник Ньютона Роберт Гук все понял «как надо» и со свойственной ему запальчивостью противопоставил корпускулярной гипотезе Ньютона свою — волновую *. Свет — это волны, которые распространяются в среде — мировом эфире.

Проходит некоторое время, и Ньютон, все более утверждаясь во мнении о «телесности» света, готов как будто согласиться, что «колебания эфира одинаково и полезны и нужны» как волновой, так и корпускулярной гипотезе.

Кажется, перед нами точка зрения, соответствующая той, что недавно названа «третьей позицией».

Но до чего же по самой своей сути противопоставлено представление об эфире человеку, который сделал своим девизом гордое — «Гипотез не измышляю!». Он не любил даже и теории (то есть гипотезы, богато подтвержден-

* О световых волнах к тому времени уже писал Франческо-Мария Гримальди, итальянский математик и физик (XVII век); с конца 70-х годов того же столетия детальной разработкой волновой теории света (тоже споря с Ньютоном) занялся великий голландский ученый Христиан Гюйгенс. В 1690 году вышел главный его труд, посвященный этой проблеме. Вклад Гюйгенса в волновую теорию света оказался так велик, что его называют основоположником этой теории, и по заслугам: он первый придал догадкам и предположениям действительно научную форму, дал идее глубокие и серьезные обоснования.

ные опытом). Только научные положения, которые он удостоивал высокого имени «достоверности», удовлетворяли этот взыскательный ум. Для Ньютона гипотезы — это «все, что не выводится из явлений... Гипотезы должны подчиняться природе явлений, а не пытаться подчинить ее себе, минуя опытные доказательства... Если кто создает гипотезу только потому, что она возможна, то я не вижу, как можно в любой науке установить что-либо с точностью».

На самом-то деле выдвигал, конечно, Ньютон гипотезы, только в нашем современном, а не схоластическом смысле этого слова, гипотезы, основанные на точном наблюдении и строгом эксперименте (из чего не следует, однако, что такие предположения непременно оказывались верными).

Эфир нужен и полезен теории Ньютона. Впрочем, этого еще слишком мало, чтобы признать эфир существующим. Ньютон не может отказаться от своих принципов. И он предупреждает, что при изложении гипотезы эфира будет «иногда говорить о ней так, как будто бы я ее принял и верю в нее», однако всего лишь «во избежание многословия и для более ясного представления». Гипотеза эфира возможна, и только. А раз так... Вернитесь на два абзаца и перечитайте цитату из Ньютона.

Итак, эфира скорее всего нет, интересная гипотеза — только гипотеза, а как относился Ньютон к самому этому термину, мы знаем. В 1704 году в «Оптике» гипотеза эфира вообще не упомянута, и это после недавнего утверждения о «полезности» колебаний эфира для любой теории о природе света. А в 1706 году во втором издании той же «Оптики» ученый мир, высоко ценивший мнение своего признанного главы, прочитал: «Не ошибочны ли все гипотезы, в которых свет приписывается давлению или движению, распространяющемуся через некоторую жидкую среду?»

Это — линия, соответствующая «первой позиции» Ньютона в нашей условной классификации.

Но в 1675 году Ньютон пишет: «...Если мы предположим, что световые лучи состоят из маленьких частиц, выбрасываемых по всем направлениям светящимся телом, то эти частицы неизбежно должны возбуждать в эфире колебания...» И тут предположением выглядит уже лишь идея световых частиц — корпускул, эфир же —

нечто бесспорное, хотя и не поддающееся детальному описанию. Позиция вторая.

В 1679 году Ньютон в письме другому великому физику, Роберту Бойлю, излагает предположение о некоем вездесущем тонком веществе по имени «эфир». Оно имеет разную плотность, состоит из частиц «тонких», причем тонких в разной степени. Чем ближе тело (любое) к центру тяготения, тем все более тонкие частицы эфира заполняют поры этого тела, вытесняя из них эфирные частицы более грубые, более крупные. Такое движение эфира и заставляет тело стремиться к центру тяготения, вызывает падение тела на Землю.

Для Ньютона подобные рассуждения явно выглядели слишком гипотетичными. В генеральный труд о всемирном тяготении (хотя и не только о нем), в «Математические начала натуральной философии», вышедшие в свет в 1687 году, такое предположение об эфире не попало. Зато почему-то позже вошло во второе издание «Оптики», где речь вообще идет о проблемах, связанных со светом, а не гравитацией...

Это позиция «третья альфа».

В концовке же второго издания «Математических начал натуральной философии» (1713) Ньютон занимает ту позицию, которую мы с вами поместили как «третью бета»: «Теперь следовало бы кое-что добавить о некотором тончайшем эфире, проникающем во все сплошные тела и в них содержащемся, коего силою и действиями частицы тел при весьма малых расстояниях взаимно притягиваются, а при соприкосновении сцепляются, наэлектризованные тела действуют на большие расстояния, как отталкивая, так и притягивая близкие малые тела, свет испускается, отражается, преломляется, уклоняется и нагревает тела, возбуждается всякое чувство, заставляющее члены животных двигаться по желанию, передаваясь именно колебаниями этого эфира от внешних органов чувств мозгу и от мозга мускулам. Но это не может быть изложено вкратце, к тому же нет и достаточного запаса опытов, коими действия этого эфира были бы точно определены и показаны».

Как видите, тяготение здесь даже не упомянуто, оставлено в стороне; получается, что именно тяготение, ради которого ученый когда-то обратился к идее эфира, не имеет к последнему отношения. А сам этот абзац мог бы показаться недостойным ни великого Ньютона,

ни его методологических принципов. Ученый излагает гипотезу и даже не оговаривается, что это гипотеза, хотя и сознается, как мало в этой области экспериментального материала. Однако...

Вглядимся в строчки Ньютона внимательнее, забыв на минуту обо всех определениях эфира, которые давались в его время, и приняв сам этот термин лишь за обозначение чего-то неизвестного, некоего икса. Тогда легко увидеть: все явления, для объяснения которых Ньютон привлек эфир, мы сегодня объясняем электромагнитным взаимодействием частиц и тел. Оно соединяет атомы и молекулы между собой, порождает свет, в передаче сигнала от органов чувств к мозгу и от мозга к мускулам чрезвычайно важную роль играют биотоки!

И вот все эти разнородные явления сведены к единой основе с той силой догадки, какая присуща лишь гениям. Единая основа тут названа эфиром, однако ведь не в имени же дело...

А теперь вернемся к эфиру как мировой среде в представлениях XVII века. Время от времени Ньютон просто замечает, что о таком эфире ничего достоверного неизвестно, неизвестно даже, есть он или нет, и потому не желает он, Ньютон, даже мнения своего высказывать по этой проблеме! («Вторая позиция».)

А потом все-таки снова и снова высказывает мнение, и оно то за существование эфира, то против него.

Кандидат физико-математических наук С. Смирнов, изучавший специально проблему сложных отношений Ньютона с эфиром, приходит к очень любопытному выводу.

Эфир был неизмеримой сущностью, одной из тех сущностей, против которых категорически и весьма последовательно возражал великий англичанин. Столько раз он подчеркивал, что исследует даже и не виды сил и свойств их, а лишь их величины и математические «отношения между ними». Его всегда интересовало то, что можно определить при опыте и измерить числом. Знаменитое «Гипотез не измышляю!» означало решительный отказ от домysлов, не подтверждаемых объективными опытами. А тут Ньютон такой последовательности не проявлял. Почему? «Об этом,— пишет Смирнов,— не говорят ни книги, ни письма Ньютона. Но, к счастью, есть еще и воспоминания его друзей. И выясняется удивительно простая вещь: Ньютон не только верил в бога —

вездесущего и всемогущего, но и не мог представить его себе иначе, чем в виде особой субстанции, пронизывающей все пространство и регулирующей все силы взаимодействия между телами, а тем самым — все движения тел, все, что происходит в мире. То есть бог — это и есть эфир! С точки зрения церкви — это ересь, а с позиции Ньютоновой «программы принципов» — лишний домысел; и вот Ньютон (добрый христианин и добрый физик) не смеет писать об этом своем убеждении, а только иногда проговаривается в дружеских беседах, Бедный сэр Исаак!»

Ньютонова глава в истории понятия «эфир» интересна вдвойне и втройне. Авторитет Ньютона прибавил авторитета и эфиру. И современники и потомки обратили гораздо большее внимание на те высказывания великого физика, которые утверждали существование эфира, чем на другие, ставившие это существование под вопрос.

Есть такие гениальные ошибки, которые оказывают возбуждительное влияние на умы целых поколений; сначала увлекаются ими, потом к ним становятся в критические отношения; это увлечение и эта критика долго служат школой для человечества, причиной умственной борьбы, поводом к развитию сил, руководящим и окрашивающим началом в исторических движениях и переворотах.

Дмитрий ПИСАРЕВ

Великому голландцу Христиану Гюйгенсу эфир был нужен по абсолютно научным соображениям: как среда, по которой идут световые волны. Теория света Ньютона в такой среде нуждалась меньше, а то и вовсе не нуждалась, поскольку свет представлял собой, по мнению Ньютона, частицы, корпускулы, которые могли ведь лететь и через пустоту. Но уже если свет — волны, то что-то непременно должно волноваться, полагал Гюйгенс.

Рассуждал он примерно так.

Стоит поместить самый обыкновенный колокольчик под стеклянный колпак, из-под которого выкачан воздух, чтобы металлический язычок бился о металлические бока безо всякого эффекта для наблюдателя, склонившегося над этим небольшим устройством. Звук нуждается в среде, переносящей его волны. То же самое, представлялось, можно сказать и о свете. Только волны звука в воздухе связаны с тем, что последовательно сужаются и расширяются воздушные слои; эфир же, несущий свет,

по Гюйгенсу, абсолютно несжимаем, его частицы передают все свое движение соседним. В результате скорость света должна быть бесконечной.

Гюйгенс пишет: «...Нет такой вещи в обычном смысле слова, такого тела, которое двигалось бы от Солнца к Земле или от видимого объекта к глазу, а есть состояние, движение, возмущение, которые были сначала в одном месте, затем в другом». Эфир, по его мнению, заполняет и пространство между элементами обычной материи — это объясняло прозрачность некоторых веществ.

И для многих других ученых XVII—XVIII веков эфир часто — излюбленный предмет рассуждений; богом они в отличие от Ньютона его все-таки не считают, но делают причиной множества природных явлений.

Представитель голландско-германско-швейцарского семейства Бернулли (семейства, давшего столько ученых, что после их имен и сейчас ставят римские цифры, как у монархов) Яков I Бернулли полагал, что объяснить тяготение может лишь эфир — тонкая упругая жидкость. Она находится не только между телами, но и в них; именно эфирная жидкость делает твердые тела такими, каковы они есть, поскольку она, пронизывая их поры, противостоит внешнему давлению.

Иоганн Бернулли, другой видный представитель той же семьи, объяснял действием эфира и такое явление, как упругость: эфирные вихри, постоянно стремящиеся раздвинуть твердые частички тела, препятствуют попыткам изменить его форму.

Под понятие «эфир» в ту пору подводилось все, что, как мы знаем теперь, вызывается гравитационными и электромагнитными силами. Но поскольку другие фундаментальные силы мира до возникновения атомной физики практически не изучали, то с помощью эфира брались объяснять любое явление и любой процесс. Слишком большая тяжесть ложилась, слишком широкие задачи возлагались на Аристотелеву пятую сущность. Даже реальное вещество не могло бы оправдать такие надежды и в конце концов разочаровало бы исследователей.

Иногда за эфир принимали просто-напросто самый обыкновенный земной воздух. Советский историк науки В. П. Зубов отмечает, что до XVII века в старой физике и медицине воздух «надеялся большинством функций

позднейшего эфира». Инерция мышления сделала такое представление распространенным вопреки Ньютону и Гюйгенсу и в XVIII веке. Во всяком случае знаменитая французская энциклопедия, великий свод знаний, составленный в середине этого столетия, в статье «Воздух» сообщала: «Доктор Гук полагает, что это (воздух.— *Р. П.*) есть не что иное, как эфир, или жидкая и активная материя, разлитая по всему пространству небесных областей...»

Конечно, тут только исторический курьез, показывающий, до какой степени иногда энциклопедия может отстать от науки своего времени. Однако курьез этот хорошо иллюстрирует, как трудно было разобраться в том, что же все-таки представляет собой эфир.

В науке теория Гюйгенса дала понятию эфира настоящему новую жизнь. До такой степени новую, что в множестве позднейших научных трудов термин «эфир» употреблялся по большей части с неизменным эпитетом «светоносный» или «световой». И входил этот эфир в XVII столетии и почти до самого конца XVIII века в странную троицу тогдашней науки, был наравне с теплородом и флогистоном одной из трех невидимых, ненаблюдаемых и невесомых жидкостей, придуманных для объяснения великого множества природных явлений — от теплоты до горения, от света до тяготения. Собственно, придумано было «невесомых» куда больше, чем три; просто эта троица была самой значимой, самой важной для понимания мира.

Под ударами идей и опытов Ломоносова, Лавуазье, Лапласа и других физиков и химиков невесомые жидкости и подобные им вещества уходили из учебников в книги по истории науки. Однако с эфиром этого тогда не произошло. И не могло пока еще произойти! Физика и химия нашли эксперименты, которыми можно было проверить гипотезы о флогистоне и теплороде, для эфира же таких доступных тогдашней опытной технике экспериментов не было еще даже предложено. А то, что нельзя проверить, может только приниматься или не приниматься на веру.

Каждое новое достижение в волновой теории света заставляло наделять эфир все новыми и новыми свойствами. Это — с одной стороны, а с другой — не было и экспериментов, которые позволили бы отрицать существование эфира.

Постепенно, однако, объяснения световых явлений на основе эфирной гипотезы стали выглядеть все более искусственными.

Когда англичанин Томас Юнг и француз Огюстен Френель пришли к выводу, что свет представляет собой колебания не продольные, а поперечные, им было трудно осмыслить результат как реальный: колебания-то происходили «для них» в эфирной жидкости, а свойства жидкости мало подходят для колебаний такого рода...

Чтобы обеспечить движение поперечных световых волн со скоростью, определенной достаточно точно еще в XVII веке, эфир должен был обладать совершенно фантастической упругостью. Большей, чем самая упругая сталь. (Чем больше скорость волн, тем более упругим должно быть вещество, по которому они идут). Упругость же — свойство прежде всего твердого тела, да и то не всякого. В то же время эфир не мешает движению звезд и планет, а для света прозрачнее, чем любой газ.

Английский ученый Дж. Г. Стокс в 1845 году сравнил эфир со смолой и сапожным варом: эти вещества достаточно жестки для быстрых упругих колебаний и в то же время могут пропускать сквозь себя твердые тела.

Что и было делать ученым, если уж они принимали теорию эфира, как не примерять к нему свойства знакомых веществ? Иногда — газа, иногда — жидкости, иногда — твердого тела.

«Если мы хотим понять действия так называемых невесомых материй или эфирных жидкостей, мы должны их сравнить с такими материалами, которые к ним наиболее близки и могут быть поняты непосредственно, а не только своими скрытыми отдаленными действиями» — так формулировал в 1824 году принципы обращения с неощутимыми субстанциями профессор медицины, физики и химии Кильского университета Христиан Генрих Пафф.

Принцип подхода кажется правильным. Вот физики даже в XX веке пользовались — да и сейчас часто пользуются — моделью атомного ядра в виде капли электрически заряженной жидкости. Такая модель иногда оказывается удобной при расчетах, касающихся распада тяжелых ядер (капля ведь тоже может распасться).

При других условиях атомное ядро нередко уподобляют пузырьку газа и т. д. Однако физики наших дней

ни на секунду не забывают, применяя такие модели, что на самом-то деле ядро — не газ, не жидкость, не твердое тело.

И всего поучительнее признать, что даже единичные предположения или гипотезы, оказавшиеся затем неверными, не раз давали повод к важным открытиям, увеличивавшим силу наук, а это оттого, что только общее, уму представляющееся как истина, т. е. гипотезы, теории, доктрины, дает то упорство, даже упрямство в изучении, без которых бы и не накопилась сила.

Дмитрий МЕНДЕЛЕЕВ

Старый принцип Ньютона — изучать величины сил и их соотношения, не входя до поры в разбор природы и свойств сил — принцип, которому так трудно следовать, был по отношению к эфиру прочно предан забвению наукой. И наверное, справедливо, наука ведь развивалась и имела право на методологические нововведения. Однако в случае с эфиром многие физики позволяли себе слишком много вольностей даже с точки зрения науки своего времени.

На гипотезу о материальной среде, заполняющей пустоту, ученые XVII, XVIII и XIX веков имели право, у них не было права лишь на наделение этой среды свойствами, которые объясняли бы все, что требовалось объяснить.

Наконец, надо обратить особое внимание на важнейшую роль идеи эфира для мирового единства, для связи между частями Вселенной. Эфир в течение столетий служил для многих физиков средством в борьбе против возможности дальнего действия — против той идеи, что сила может передаваться от одного тела к другому через пустоту. Еще Галилей твердо знал, что энергия от одного тела к другому переходит при непосредственном их соприкосновении. На этом же принципе основаны законы механики Ньютона. Между тем сила тяготения, оказывалось, действует вроде бы через пустое космическое пространство. Значит, оно не должно быть пустым, значит, его сплошь заполняют некие частицы, передающие, точно по эстафете, силы от одних небесных тел к другим или даже сами своими движениями обеспечивающие действие закона всемирного тяготения.

В середине XVIII века физик Георг Луи Лесаж предложил необычайно простую и чрезвычайно привлека-

тельную гипотезу, объясняющую Ньютонов закон тяготения влиянием особых частиц эфира. Ньютонов эфир просто стремился к центрам тяготения, увлекая с собой пронизанные им тела, а частицы Лесажа любые тела толкали друг к другу.

Беда гипотезы была в том, что она легко проверялась расчетами. Действительно, в «эфирном газе» из таких частиц всемирный закон тяготения действовал бы по Ньютону, зато в таком газе сама Земля должна была бы тормозиться в своем движении по околосолнечной орбите. Довольно быстро выяснилось, что наша планета давно должна была бы в этом случае потерять свой «запас скорости» и, значит, рухнуть на материнское светило.

Слишком все же была эта гипотеза наглядна, слишком эффектную механическую модель тяготения она предлагала, чтобы быстро и окончательно выйти из употребления. Буквально до наших дней появляются модификации идеи Лесажа. Их авторы предлагают иногда довольно остроумные способы сохранить за нашей планетой (и всеми остальными) возможность двигаться по своей орбите. Однако у каждой из новых версий идеи Лесажа всегда обнаруживались слабые места, всегда находились факты, противоречащие таким гипотезам.

Любопытно, что многие приверженцы эфира полагали, что на основе дальнейшего изучения этой субстанции даже формула закона всемирного тяготения будет уточнена. Вот как пишет об этом советский ученый И. Ю. Кобзарев в книге «Ньютон и его время»: «...Отклонения от закона Ньютона были желанными, казалось естественным, что такой странный, необоснованный закон не может быть точным; гидродинамика эфира должна давать что-то более сложное».

В XIX веке идея эфира стала на время теоретической основой для активно развивающейся области электромагнетизма. Майкл Фарадей, по-видимому, иногда смутно чувствовал к этой идее нечто вроде отвращения, пытался, бывало, обойтись без странной субстанции, которую ни взвесить, ни измерить. Но что поделать, никакое другое понятие не могло в ту пору ему хоть как-то помочь. Электричество стали рассматривать как некую жидкость, которую можно было отождествить лишь с эфиром. При этом всячески подчеркивалось, что электрическая жидкость — одна-единственная. Уже в ту пору

крупнейшие физики не могли примириться с возвращением к множеству невесомых жидкостей, хотя в науке вопрос о том, что эфиров несколько (или эфир разнороден), поднимался не раз.

К последним десятилетиям XIX века эфир был, можно сказать, общепризнан. О том, есть ли он, почти не спорили. Другое дело, что он собой представляет. По существу, между собой конкурировало несколько вариантов эфира.

В одном случае Земля проходила через эфир или, если хотите, эфир сквозь Землю — она была прозрачна для него. В другом — частицы эфира «толкали» нашу планету, поскольку пройти через нее не могли.

Иногда эфир подчиняли закону всемирного тяготения, иногда выводили из-под его власти.

Английский физик В. Томсон, более известный после получения им титула как лорд Кельвин, построил модель эфира из вращающихся частиц — «волчков»: ему нужно было найти такую механическую систему, которая оказывала бы сопротивление только деформации, сопровождающейся вращением. В одном варианте это были волчки жидкие, в другом твердые. По еще одной модели того же Кельвина эфир представлял собой просто несжимаемую жидкость.

Томсон-Кельвин был абсолютно убежден в существовании эфира, потому что только такая неощутимая материя со свойствами газа, жидкости и твердого тела могла обеспечить объяснение любых явлений с помощью законов механики. Именно эти законы лежали, по его мнению, в основе всех природных закономерностей.

«Мне кажется,— говорил Кельвин,— что настоящий смысл вопроса: понимаете ли вы такое-то физическое положение? — будет такой: можете ли вы сделать соответствующую механическую модель? ...Я никогда не чувствую себя удовлетворенным, если не могу себе представить механической модели данного явления; если я могу представить себе такую модель — значит, понимаю вопрос; если не могу — значит, я не понимаю его».

Джеймсу Клерку Максвеллу тоже понадобилась механическая модель — при работе над объяснением электромагнитных воздействий. Магнитное поле согласно построениям Максвелла возникает потому, что его создают крошечные эфирные вихри, нечто вроде тоненьких вращающихся цилиндров. Чтобы цилиндрики не со-

прикасались между собой и не мешали друг другу вертеться, между ними были помещены — в роли смазки — мельчайшие шарики, тоже вращающиеся.

И вихри-цилиндры были эфирными, и вихри-шарики — тоже, но последние были уже наименованы частичками электричества. («...Можно было подумать, что читаешь описание завода с целой системой зубчатых колес, рычагами, передающими движение и сгибающимися от усилия, центробежными регуляторами и передаточными ремнями», — писал о своих впечатлениях от работы Максвелла французский математик и физик Анри Пуанкаре).

Модель была сложной, но демонстрировала и объясняла привычным механическим способом множество характерных электромагнитных явлений. Часто говорят, и справедливо, что свои великие уравнения Максвелл сформулировал, опираясь на гипотезу об эфире. Однако отношение самого Максвелла к моделям такого рода отличалось от позиции Кельвина. Поэтому не стоит, вероятно, преувеличивать значение для Максвелла как эфирной модели электромагнетизма, так и идеи эфира вообще. О первой он заметил в одном письме: «Модель явления так относится к истинному явлению, как относится модель солнечной системы, работающая на принципе часового механизма, к самой солнечной системе».

Что же касается идеи эфира, то, пожалуй, для Максвелла, глубоко убежденного в его реальности, эфир был средой с куда более расплывчатыми свойствами, чем для большинства его современников.

Зато, обнаружив, что свет — только разновидность электромагнитных волн и что любые электромагнитные колебания поперечны, Максвелл отождествил «светоносный» и «электрический» эфиры, одно время существовавшие в теории параллельно и независимо. Последовал вывод: «...Свет состоит из тех же поперечных колебаний той же самой среды, которая является причиной электрических и магнитных явлений».

К концу XIX — началу XX века представления о мировом эфире пронизывали мировую науку не менее глубоко, чем сам эфир согласно этим представлениям Вселенную.

Дмитрий Иванович Менделеев так писал об эфире в энциклопедии Брокгауза и Ефрона в статье «Вещество»: «Необходимо допустить, что известное положение сол-

нечной системы в среде других систем вселенной, как и положение отдельных планет в солнечной системе, определяется не только инерцией, но и промежуточной средою, проводящею свет и обладающею особым состоянием упругости, напоминающим твердые тела. Точно так же для сложения из атомов и образуемых ими частиц в реальное вещество необходимо допустить участие не только инерции, но и той светопроницаемой мировой среды, которая потому только невесома, что все проникает; так воздух невесом в воздухе и оказывается реально весомым только тогда, когда находится возможность его удалить, мировую же среду удалить нельзя, то есть пустоту абсолютную, лишенную мировой среды, получить невозможно».

С другой стороны, великий химик понимал, что идея эфира — мировой среды — не увязана с уже прочно утвердившимися и строго доказанными теориями столь тесно, как казалось многим в ту пору.

В одной из своих статей он специально оговаривается: «Понятие о химических элементах теснейшим образом связано с общепринятыми учениями Галилея и Ньютона о массе и весомости вещества и с учением Лавуазье о вечности вещества, представление же об эфире вызывается исключительно изучением явлений и потребностью свести их к простейшим представлениям». И далее говорит снова о том, что «световой эфир, если он реален, весом...» Иными словами, все-таки допускается и возможность того, что эфир не реален.

Представления Менделеева об эфире отвечали уровню тогдашних знаний, он стремился этот уровень повысить, в частности подойдя к мировому эфиру как химик. Он ищет, на какие известные на Земле вещества может быть похож эфир. Разумеется, хотя упругость сближает его с твердыми телами, сравнение тут напрашивается с газами. С какими? С инертными, «с аргоновыми газами, потому что эти последние не вступают в химическое взаимодействие ни с чем, а мировой эфир, все тела проникая, тоже, очевидно, на них химически не действует».

Если считать газ-эфир аналогом газа гелия, то, опираясь на это сходство, можно попытаться обнаружить, каким должен быть атом эфира. По тому самому, в сущности, методу, каким Менделеев находил свойства атомов еще неизвестных элементов. Мы знаем, какой

блестящий успех ждал такие его предсказания. Рассуждая же об атоме эфира, Дмитрий Иванович проникал в область, к которой законы химии отношения не имеют (да и физика тех лет, до появления квантовой механики, не обладала методами, с помощью которых возможно хотя бы частичное, весьма неполное описание физического вакуума).

Тем не менее предпринятые ученым поиски «атома эфира» остаются интересными и сегодня. И не только потому, что их предпринял «сам Менделеев». Любопытен прежде всего метод, который он применил.

Дмитрий Иванович приходит к выводу, что квадрат скорости частиц эфира должен быть во столько же раз больше квадрата скорости частиц водорода, «во сколько раз плотность водорода превосходит плотность эфира, при равных температурах».

Приняв для мирового пространства в соответствии со взглядами того времени температуру минус 80° по Цельсию, Менделеев на основе простой пропорции определяет минимальную среднюю скорость частиц эфира — 2000 километров в секунду, атомный вес же эфира «недалек от 0,000001» (одной миллионной).

В журнале «Химия и жизнь» была опубликована статья В. Храмова об этом предположении Менделеева. Заменяя в вычислениях великого химика устаревшие данные, исправив, например, минус 80°C (в свободном космосе) на минус 250°C и т. п., В. Храмов получил для менделеевского атома эфира атомный вес в одну миллиардную, что соответствует массе в 10^{-33} грамма. На шесть порядков — в миллион раз меньше, чем масса электрона.

В. Храмов пишет: «...специальная теория относительности... покончила с «мировым эфиром» лишь как с какой-то неподвижной средой, способной служить абсолютной системой отсчета. Менделеев же, по сути дела, лишь высказал предположение о существовании еще не открытой наименьшей частицы материи (теперь бы мы сказали — элементарной), подобной благородным газам по своей инертности * ...вездесущей и всепроникающей... Так ли уж неправ был ученый?»

Вопрос в конце цитаты, понятно, вполне риторический. Храмов отвечает на него, пытаясь отождествить

* Имеется в виду инертность химическая.— Р. П.

атом эфира и «неуловимое» (хотя и улавливаемое теперь) нейтрино. Оно ведь «тоже» чрезвычайно слабо реагирует с веществом и имеет ничтожную массу покоя.

В недавнем эксперименте (поставленном года через три после публикации статьи В. Храмова), нуждающемся еще в подтверждениях, масса покоя нейтрино была определена в 14—46 электронвольт. Это соответствует примерно 10^{-32} грамма. Совсем неплохое совпадение с эфирным атомом Менделеева — Храмова!

Но ведь предпосылки-то Менделеева в данном случае были как будто (глядя издали) абсолютно необоснованными? Да, но не впервые в истории гений срывает золотое яблоко открытия, стоя на лесенке, которая никуда не годится. Точнее, годится только именно как лесенка, подставка, чтобы сорвать именно это яблоко. Иоганн Кеплер, например, наделял планеты свободой воли, что не помешало ему сформулировать законы, реально управляющие движением планет.

Впрочем, большинство физиков вряд ли согласится с выводами интересной статьи В. Храмова. Что же, эту короткую историю все равно стоило привести, хотя бы для того, чтобы читатель почувствовал пронизанность идеей эфира всех естественных наук на рубеже последнего столетия.

ВЕЛИЧИЕ И ПАДЕНИЕ ЭФИРА

Знаменитая «История XIX века», выпущенная во Франции под редакцией Лависса и Рамбо и не раз издававшаяся на русском языке, констатирует: «В общем, физика в конце XIX века, по-видимому, колебалась между двумя существенно различными концепциями: одна при объяснении фактов отдавала предпочтение взаимодействиям весомых молекул, другая же считала эти молекулы инертными и в невесомом эфире видела неисчерпаемоеместилище естественных сил и энергий, фактор, способный производить их по нашему желанию в самых разнообразных и неожиданных формах».

В науке нет вечных теорий. Все происходит так, что некоторые факты, предсказанные теорией, опровергаются экспериментом. Всякая теория имеет свой период постепенного развития и триумфа,

Великий голландец Г. А. Лоренц, сам сторонник идеи эфира, разобрав основные варианты связанных с эфиром научных построений XIX века, с грустью констатировал: «Эти теории имели некоторый успех, но нужно признать, что они не дают особого удовлетворения, так как становятся все более искусственными по мере возрастания количества случаев, требующих детального объяснения».

Замечания такого рода не могли поколебать все же самого «принципа эфира». Авторитет Ньютона (пусть даже неправильно понятого) и Гюйгенса был подкреплен суждениями других величайших среди великих — Фарадея и Максвелла, Канта и Менделеева. Даже закон всемирного тяготения Ньютона, пожалуй, имел не большее влияние на умы, чем эта поразительная концепция тончайшей материи, связывающей мир в неразрывное единство, дающей науке нечто абсолютное — ту печку, от которой можно танцевать.

По словам английского физика Джона Тиндаля (1820—1893), в наличии эфира большинство ученых было убеждено не меньше, чем в существовании Солнца и Луны.

Пока эфир был таким же умозрительным построением, как Демокритова пустота, он мог выдержать любой натиск скептиков. Когда на него возложили конкретные и трудные обязанности, ситуация изменилась. Тем более что число этих обязанностей по мере развития науки росло.

Посудите сами: эфир должен был обеспечивать действие закона всемирного тяготения (как передаточное звено в механизме проявления неведомой силы или как нечто, что такую силу порождает); эфир оказывался средой, по которой идут световые волны; эфир нес ответственность за все проявления электромагнитных сил; да вообще ответы на почти все загадки природы — физические, химические, биологические — требовалось найти именно в эфире.

Для одновременного выполнения всех этих функций ему надлежало обладать весьма разными и часто слишком противоречивыми свойствами.

Концепция эфира в античной науке не могла быть отвергнута уже потому, что ее нельзя было, как мы знаем, проверить ни расчетами, ни экспериментами.

Новая наука имела в своем распоряжении оба этих мощных орудия.

В Древней Греции очень любили задавать вопросы, причем такие, что на них и через двадцать пять веков ответить нелегко.

Сегодняшняя физика тоже любит задавать сама себе вопросы, только не всякие, а лишь такие, которые подходят под определение — корректные. Впрочем, и само-то определение она вывела сама. Корректные — значит здесь правильные. Из этого совсем не следует, что на любые корректные вопросы непременно уже есть ответы, а следует только, что такие ответы в принципе можно получить.

Что имеется в виду? Академик М. А. Марков пишет: «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 отвечать на любой такой вопрос, и отвечать в форме определенного научного предвидения».

Та теория, чьи научные предвидения не сбываются «без всяких уважительных причин», попадает в разряд нежизнеспособных, и ее хоронят. Если она имела заслуги, если кое-какие ее предвидения в прошлом все-таки сбывались, хоронят с почестями. Впрочем, не слишком пышными.

Чтобы оставаться жизнеспособной, физическая теория должна выполнять три условия, отвечать трем достаточно четким критериям.

Во-первых, теория не должна приводить к резко противоречащим друг другу выводам. Это необходимое свойство называют самосогласованностью. Теория может спорить с другими теориями, но не сама с собой.

Во-вторых, теория должна объяснять все бесспорные результаты экспериментов, проведенных в области, за которую она «отвечает».

В-третьих, «первопринципы» и фундаментальные законы, заложенные в теорию, должны давать ей возможность проводить вычисления для конкретных ситуаций, анализировать результаты любого нового эксперимента в «контролируемой» теорией области.

Да еще сверх всего названного эти законы теории должны быть согласованы с законами всех остальных областей физики.

Теория дает драгоценную возможность предсказывать факты, которые к моменту ее появления никому не были известны. И критерием истинности теории становится совпадение таких предсказаний с реальностью.

Предскажет, а предсказание не оправдается — вот тут-то дело плохо.

Сформулировали эти критерии сравнительно недавно, но — пусть недостаточно осознанно — стремились соблюдать их и в XIX веке и в XVIII и даже в XVII.

Теория же мирового эфира и до восьмидесятых годов XIX века перечисленным критериям удовлетворяла далеко не полностью.

Мы с вами уже говорили, что эфир оказался наделен взаимоисключающими свойствами, значит, плохо обстояло дело с самосогласованностью.

Чтобы объяснить вновь обнаруженные факты, анализировать новые эксперименты, гипотезу об эфире все время приходилось дополнять, и эти дополнения выглядели для ученых все более искусственными.

Правда, точный опыт по определению самого факта существования (или отсутствия) эфира долго не мог быть поставлен уже потому, что эфир в разных вариантах гипотезы, как упоминалось, вел себя по-разному.

По мнению одних ученых, он оправдывал Аристотелев перевод его названия — «всегда бегущий»; по мнению других, был неподвижен абсолютно; Генрих Герц, немецкий физик, открывший радиоволны, настаивал на том, что движущиеся тела увлекают эфир с собой. Голландский физик Гендрик Лоренц, напротив, считал, что эфир абсолютно неподвижен и движение тел в нем никак не отражается на положении частиц эфира. Появлялись и «промежуточные» гипотезы, согласно которым обычное вещество лишь частично увлекало с собой эфир в своем движении.

В начале XX века А. А. Эйнштейн в России, сравнив взгляды Герца и Лоренца, пришел к выводу:

«То, что мы называем в настоящее время мировым эфиром и что проникает собой все материальные тела, мы должны считать неподвижным даже внутри самой материи, находящейся в движении». Словом, еще в XIX веке восторжествовало представление об эфире как о неподвижной среде, фоне, на котором движутся все существующие тела.

Только с победой (пусть не всеми учеными признанной) такого представления теория, наконец-то, смогла предсказать результат точного опыта. И тем самым дала возможность проверить себя, а значит, и опровергнуть.

Схема эксперимента была намечена еще Джеймсом Клерком Максвеллом. Она чрезвычайно проста, хотя великий физик, по-видимому, сомневался в реальности такого опыта: «Если бы можно было измерить скорость света по времени, которое ему требуется, чтобы пройти расстояние между двумя точками на поверхности Земли, а потом полученные данные сравнить со скоростью света в обратном направлении, то мы смогли бы определить скорость движения эфира относительно этих двух точек».

Первый из серьезных экспериментов по определению скорости эфира был, правда, поставлен не совсем по этой схеме, зато полностью следовал ее принципам.

Событие
Свершилось,
Но разум
Его не освоил еще,
Оно еще пылким рассказом
Не хлынуло с уст горячо,
Его оценить беспристрастно
Мгновенья еще не пришли,
Но все-таки
Все было ясно
По виду небес и земли...

Леонид МАРТЫНОВ

В 1881 году в американском журнале «Америкэн джорнэл оф сайенс» появляется в виде статьи доклад Альберта Майкельсона; пафос доклада сосредоточен в следующей короткой фразе: «Таким образом, доказано, что гипотеза неподвижного эфира неверна».

Вывод этот подытоживал результат поразительно изящного опыта. Вот как говорит о Майкельсоне американский прозаик Митчел Уилсон: «Изо всех противоре-

чивых качеств Майкельсона главным было его изящество: изящество метода исследования, изящество интеллектуального анализа физических проблем, изящество описания и даже элегантная внешность».

Для описания принципиальной схемы опыта позволю себе воспользоваться цитатой из того же Митчела Уилсона.

«Метод Майкельсона был основан на том же явлении, которое вызывает радужные цвета на тонкой пленке масла на поверхности лужи. Большая часть солнечного света отражается от наружной поверхности масляной пленки, в то время как остальной свет проникает внутрь пленки и отражается от ее нижней поверхности. При определенных углах падения света оба отражения накладываются одно на другое. Волны света, так же как волны в воде, взаимно уничтожают или усиливают друг друга в зависимости от того, совпадает ли гребень одной волны с впадиной или гребнем другой. Есть некоторая разница в длине волн тех цветов, которые составляют белый цвет. При интерференции света некоторые цвета исчезают, и вместо них на масле появляется черная полоска. Там же, где цвета усиливаются, видны полосы хроматически чистых цветов спектра».

В интерферометре Майкельсона луч света тоже расщеплялся надвое, каждый из новых лучей шел своим путем, и при новом объединении лучей возникали светлые и темные полосы.

Молодой физик решил использовать прибор, чтобы узнать скорость движения Земли в эфире. Частицы эфира должны были своим давлением замедлять скорость луча, идущего в направлении движения Земли по своей орбите — эфирный ветер дул навстречу этому лучу. Второй луч был направлен перпендикулярно первому, значит, двигался не против ветра. Затем лучи соединяли вместе с помощью зеркал. Получалась полосатая интерференционная картина.

Следовал поворот установки на девяносто градусов. Теперь уже второй луч, а не первый, оказывался идущим против эфирного ветра. Это изменение должно было вызвать сдвиг интерференционной картины (если бы такой ветер дул на самом деле). Она не сдвинулась. Осталась на месте. Между тем скорость Земли на орбите примерно тридцать километров в секунду, и именно такую скорость должно было бы иметь эфирное течение,

эфирный ветер, именно настолько он должен был притормозить луч света, идущий против этого ветра. Раз такого не произошло, значит, и эфирного ветра не было.

В 1884 году Гендрик Лоренц подверг критике некоторые детали эксперимента Майкельсона, указал на недостатки в том, как этот эксперимент был впервые поставлен. В 1887 году Майкельсон вместе со своим соотечественником Э. У. Морли повторил опыт в более совершенном варианте.

Интерферометр теперь установили на массивной плите, плававшей в ртути, для того, в частности, чтобы сделать максимально плавным требуемый поворот на девяносто градусов.

За прошедшее столетие с помощью приборов, построенных по тому же принципу, удалось установить, что эфирный ветер не дует и со скоростью полутора километров в секунду. Другие же методы не оставляют ему даже скорости в пятьдесят сантиметров в секунду.

Светоносный мировой эфир — свет он нес, свет и должен был решить его судьбу!

История науки о свете насчитывает тысячи увлекательнейших страниц. И написаны об этой истории сотни книг*.

В наш век овладения космосом и многочисленных споров о том, насколько это овладение оправдывает затраченные расходы, стоит напомнить, что спутники Юпитера, например, принесли реальную пользу, едва минуло несколько десятков лет с момента открытия их Галилеем. По характеру движения этих спутников и по тени, которую один из них бросал на Юпитер, в XVII веке удалось впервые измерить скорость света. Ошибка не превышала нескольких процентов.

Так естественно было, что в конце XIX века экспериментатор, наконец-то точно определивший скорость света, не выходя при этом за пределы родной планеты, что этот экспериментатор нанес с помощью света смертельный удар эфиру, придуманному ради того же света.

* В 1980 году издательство «Знание» в серии «Жизнь замечательных идей» выпустило книгу О. П. Мороза «Свет озарений», рассказывающую о том, как менялись научные представления о природе света.

Майкельсон, наверное, полагал, что движение эфира скажется на движении его луча. Он ставил опыт, чтобы подтвердить общепринятую теорию, а не для того, чтобы опровергнуть ее.

Эксперимент, как давно известно, мудрее экспериментатора. Надо притом отдать должное научной смелости физика, вере его в свою голову и свои руки — ведь заявлением о «гибели эфира» он бросал вызов ни больше ни меньше как всей мировой науке. Вспомним, что Ньютон, опасаясь критики (хотя не только поэтому), почти восемнадцать лет не публиковал своих трудов по всемирному тяготению, что Гаусс по той же причине так и не выступил публично с работами в области неевклидовой геометрии. А ведь за тем и другим стоял уже огромный научный авторитет.

Даже Эйнштейну было, пожалуй, проще бросить вызов старым учениям: к моменту появления его работ фундамент для теории относительности был уже создан.

Какая удача, сказал один из ученых, когда хорошо проверенный эксперимент противоречит хорошо подтвержденной теории. Конечно, нельзя сказать, чтобы теория эфира была хорошо подтверждена. Зато признанной она была в самой высокой степени.

Итак, состоялось убийство прекрасной теории безобразным фактом. Состоялось! И надолго осталось почти незамеченным. Иногда теории оказываются на редкость живучи. Слова Пушкина, что «тьмы низких истин мне дороже нас возвышающий обман», справедливы не для одних лишь поэтов и не только когда речь идет о чисто исторических легендах.

Сказать, что сообщение Майкельсона произвело впечатление разорвавшейся бомбы, было бы неверно. Бомба-то, конечно, взорвалась и даже разнесла в клочья гипотезу, которую давным-давно повысили в разряд теории. Однако большинство ученых долго не хотели замечать этого взрыва. Физики всего мира высоко оценивали совершенство экспериментов того же самого Майкельсона по определению скорости света в разных средах, в том числе в вакууме. С восхищением передавалось из уст в уста, что первый прибор для измерения этой скорости был изготовлен Майкельсоном в пору, когда было ему двадцать лет и носил он чин флотского лейтенанта, причем стоил этот прибор ровно десять долларов.

Признание к Майкельсону пришло быстро. К самому знаменитому сегодня его эксперименту оно совсем не торопилось.

Историки науки подозревают, что Эйнштейн в пору работы над специальной теорией относительности, возможно, не знал об этом опыте, результат которого был одним из важнейших доводов в пользу истинности его идей.

Над этим фактом непризнания факта (простите тавтологию) стоит задуматься. Не слишком ли часто в истории науки результат эксперимента оказывается в пренебрежении до поры, пока не возникает объясняющая его теория? Итогов опыта, поверяющего авторитетную теорию, ждут с куда большим нетерпением, чем появления гипотезы, объясняющей уже поставленный эксперимент, не укладывающийся на заранее отведенную полочку.

Между прочим, такое равнодушие физиков не прошло мимо внимания великого насмешника Бернарда Шоу. Эксперимент Майкельсона — Морли весьма заинтересовал великого публициста и драматурга. Писатель сумел сделать из опыта правильные выводы, отметив, что теперь «отправляется в черту» светоносный эфир. Нежелание же многих ученых согласиться с бесспорными фактами не так уж поразило сатирика. Вот что он заявил: «Я всегда отрицал за каким бы то ни было механическим экспериментом способность уверить людей в том, во что они верить не хотят, или разуверить их в чем-нибудь, во что они свято верят».

Все-таки по крайней мере два крупнейших физика, сторонники эфира, приняли к сведению результат опытов Майкельсона. Дж. Ф. Фитцджеральд в Ирландии и Г. Лоренц в Голландии нашли, по их мнению, возможность спасти теорию эфира *. Достаточно было предположить, что предметы,двигающиеся против течения эфира, изменяют свои размеры, сокращаются по мере приближения их скорости к скорости света.

Правда, Гендрика Лоренца с его высокой научной щепетильностью и глубоко эмоциональным отношением к научным истинам очень смущало, что эта идея была придумана, как принято говорить, по случаю, специаль-

* Следует назвать еще английского ученого Дж. Лармора, также занимавшегося этой проблемой.

но для объяснения конкретного эксперимента. Он писал: «Подобному введению особых гипотез для каждого нового опыта присуща... некоторая искусственность». Иными словами, Лоренц ощущал разрыв между своей гипотезой и построениями всей предшествующей физики.

А гипотезу эту все-таки выдвинул! Причем, как оказалось, она верно описывала факты, но неверно их объясняла. Под именем «сокращения Лоренца—Фитцджеральда» до сих пор входит это явление в учебники физики.

Гипотеза была блестящей, формулы, предложенные в ней, великолепны. Только вот цели, ради которой она была предложена, достигнуть не удалось. «Спасательная операция» в пользу эфира сорвалась. Недаром само предположение, выдвинутое двумя учеными независимо друг от друга, получило настоящее признание в науке только после поражения эфира в битве с теорией относительности.

Гипотеза эта при всех своих бесспорных достоинствах имела один весьма важный недостаток: она наделяла эфир такими свойствами, которые делали его для науки в прямом смысле невидимым. Не только не давалось способа, каким можно было бы обнаружить скорость движения чего угодно относительно «лоренцевского эфира», но, наоборот, получалось фактически, что такого способа попросту нельзя найти. Что, разумеется, не могло внести успокоения в мир физики, со времен Галилея взявшей на вооружение принцип — проверять все и вся. И в то же время ей нечем было пока заменить эфир: серьезной теории, которая могла бы противостоять «эфирной», не было. Большинство ученых пребывало в уверенности, что время пятой сущности, пережившей все остальные древние сущности на сотню лет, еще не истекло. Как ни смущали физиков воспоминания о гибели других «невесомых» вроде теплорода или магнитной жидкости, очень трудно было им допустить, что эфир ожидает та же судьба.

Слишком прекрасна (я нисколько не иронизирую) была теория эфира, чтобы дать безобразному чудовищу, экспериментальному факту, погубить ее прежде, чем появится на смену другая прекрасная теория.

Опыт Майкельсона снова и снова повторяли в разных модификациях. Иногда эфирный ветер все же вроде бы в эксперименте обнаруживали, правда, последую-

щие проверки опять и опять восстанавливали безветрие, а точнее безэфирье.

Впрочем, до сих пор приглядываются те, кто остался верен старой эфирной картине мира, к опыту Майкельсона. Что-то, может быть, там было сделано не так, какая-то ошибка вкралась, как-то можно объяснить, почему эфирного ветра не наблюдалось...

Что из того, мол, что опыт столько раз повторяли, причем самые разные люди? Ведь иногда же получалось в таких экспериментах, что эфирный ветер есть! Ну да, потом аппаратуру чуть видоизменяли, отлаживали, и эффект исчезал. Так, может быть, ошибка была именно в отлаженных вариантах, именно в них что-то делали не так?

Тут, однако, как раз такой удачный случай, когда эксперимент можно считать проверенным, а результаты его подтвержденными не десятки, не сотни и даже не тысячи раз.

Один опыт я ставлю выше, чем тысячу мнений, рожденных только воображением.

Михаил ЛОМОНОСОВ

Эксперимент Майкельсона повторяется, по сути, каждый раз, когда мы посылаем световой или радиосигнал на искусственный спутник или на Луну: время прихода сигнала никак не зависит от того, по движению Земли или против него идут луч света или радиоволна. И отраженный от Луны луч тратит на дорогу обратно ровно столько же, сколько на путь к нашему естественному спутнику.

Мало того. Ученые и инженеры, рассчитывая космические трассы для искусственных спутников и межпланетных систем, совершенно не принимают во внимание эфирный ветер. И тем не менее их расчеты оказываются верными: аппараты летят туда, куда надо.

Здесь я хочу обратить ваше внимание вот на какое обстоятельство. В XVII, XVIII столетиях и почти весь XIX век в существовании эфира сомневались — по крайней мере изредка — некоторые крупнейшие теоретики, начиная с Ньютона. В последнее же двадцатилетие XIX века, словно нарочно именно тогда, когда смертный приговор старому эфиру уже был вынесен, ему начинают оказывать неслыханные прежде почести, не подозре-

вая, что эти почести предсмертные или даже посмертные.

Энциклопедии разных стран, выходявшие на рубеже веков, дружно славили крупнейшее достижение физики XIX века — доказанную будто бы теорию эфира, с сожалением констатируя, что еще недавно у кого-то были сомнения по этому поводу. Честный старый «Брокгауз и Ефрон» в томе, вышедшем в 1904 году — через 23 года после первого опыта Майкельсона, — отмечал, что существование эфира абсолютно и бесспорно доказано. Автор статьи в энциклопедии даже удивлялся: совсем недавно сам великий Кельвин был вынужден особо объяснить сомневающимся студентам, что эфир действительно есть.

В данном случае, повторяя всерьез шутливые слова одного из героев «Двенадцати стульев», можно сказать, что «...Брокгауз с Ефроном обманывали человечество...»

А всего через год после выхода этого тома энциклопедии никому не ведомый в ту пору эксперт 3-го класса в Бернском патентном бюро Альберт Эйнштейн направляет в немецкий научный журнал тридцатистраничную статью под названием «К электродинамике движущихся тел».

Мировое пространство в теории относительности само по себе служит материальной средой, взаимодействующей с тяготеющими телами, оно само приняло на себя некоторые (но далеко не все) функции прежнего эфира. Надобность же в эфире как среде, дающей абсолютную систему отсчета, отпала, поскольку получалось, что все системы отсчета относительны.

После того как Максвеллово понятие поля было распространено и на гравитацию, исчезла самая потребность в эфире Френеля, Лесажа или Кельвина для того, чтобы сделать невозможным дальное действие: гравитационное поле и прочие физические поля приняли на себя обязанность передачи действия. С появлением теории относительности поле стало первичной физической реальностью, а не следствием какой-то другой реальности.

Само свойство упругости, столь важное для эфира, оказалось у всех материальных тел связанным с электромагнитным взаимодействием частиц. Говоря иными словами, не упругость эфира давала основу электромаг-

нетизму, а электромагнетизм служил основой упругости вообще.

Так что же, значит, мировая материальная среда стала физике не нужна? Значит, надо возвращаться к пустоте? Можно, пожалуй, сказать так: эфир действительно придумали потому, что он был нужен; в начале XX века надобность в старом эфире со всем приданным ему набором противоречивых свойств отпала; некая вездесущая материальная среда, как полагал, судя по некоторым его высказываниям, сам творец теории относительности, все-таки должна была существовать и обладать определенными свойствами.

Переворот в науке освободил такую среду, буде она есть, от некоторых тяжелых и нереальных обязанностей, на нее возложенных, смягчил требования к ней физиков.

В двадцатые годы нашего столетия, уже после публикации классических трудов по специальной и общей теории относительности, Эйнштейн не раз повторял в статьях: «...Эфир существует. Согласно общей теории относительности, пространство немислимо без эфира...»; «Мы не можем в теоретической физике обойтись без эфира, т. е. континуума*, наделенного физическими свойствами».

Так что же, повторяется история, приключившаяся с пустотой в XVII веке? Тогда при виде торричеллиевой пустоты многие ученые провозгласили, как вы помните, что истинная пустота все равно невозможна. Теперь же, после того как теория относительности сделала эфир ненужным, многие физики не желали отречься от необходимости мировой материальной среды!

На самом деле эти две ситуации схожи только внешне, потому что нельзя ставить знак равенства между эфиром, о котором писал Кельвин, и эфиром, о котором говорил Эйнштейн.

«Континуум, наделенный физическими свойствами» — это совсем не прежний эфир. У Эйнштейна физическими свойствами наделяется само пространство. Для общей теории относительности этого достаточно, никакая особая материальная среда сверх того в этом пространстве ей не требуется. Однако уже само пространство с новыми (для науки) физическими свойствами

* Здесь — бесконечная непрерывная протяженность.— Р. П.

ми можно было бы, следуя Эйнштейну, звать эфиром. Мало того, общая теория относительности в конечном счете есть теория гравитации — не больше и не меньше. В современной же физике «власть над миром» делит с теорией относительности квантовая теория поля. Она же, со своей стороны, приходит (речь об этом впереди) к наделению вакуума физическими свойствами. Академик А. Б. Мигдал пишет по этому поводу: «По существу физики вернулись к понятию эфир, но уже без противоречий. Старое понятие не было взято из архива — оно возникло заново в процессе развития науки».

Так, спрашивается, почему же физика не последовала благородному примеру Эйнштейна и не сохранила за по-новому открывшейся человеку мировой материальной средой прежнего имени, овеянного славой олимпийских богов и великих греческих философов, как и физиков XVII—XIX веков? Вот атом, хотя он и стал делимым, но сохранил свое древнее название. Почему того же не случилось с эфиром?

Может быть, свою роль в разной судьбе двух терминов сыграло то обстоятельство, что в строение атома ученые не вдавались, пока не набрали достаточно материала; строение же эфира разбирали во множестве подробностей и, «перегрузив» содержанием понятие эфира, сделали его менее пригодным для дальнейшего использования.

А может быть, физика не смогла простить эфиру своей слишком долгой веры в его существование в формах, оказавшихся нереальными?

НИЧТО И НЕЧТО

НАД «МОРЕМ ДИРАКА»

Создателям квантовой механики поначалу было не до свойств пустоты, им хватало забот с непривычным новым миром, где энергия дробилась на порции, волна оказывалась частицей, а частица — волной *.

Но теория относительности и квантовая механика должны были встретиться и начать как-то учитывать открытия, сделанные каждой из них, уже потому, что элементарные частицы способны двигаться с почти световой скоростью, при которой масса частицы начинает ощутимо зависеть от ее скорости (фотоны же вообще летят только со скоростью света).

Первым начал процесс объединения двух теорий (и по сию пору далеко не законченный) английский физик Поль Дирак. Частиц тогда — к 1928 году — было известно только три: фотон, электрон и протон. Причем самым «старым» из них был электрон. С ним физики были знакомы уже десятки лет. Понятно, что с электронов и следовало начинать.

Поль Дирак составил уравнение, которое описывало движение электронов с учетом законов и квантовой механики и теории относительности, и получил неожиданный результат. Формула для энергии электрона содержала квадратный корень некоей величины. Значит, два решения было у этой формулы: одно соответствовало, как и следовало ожидать, уже знакомому электрону, частице с положительной массой и положительной энергией; другое — частице, у которой энергия была отрицательной.

* О том, как рождалась квантовая механика, подробно рассказывается в книге: Данин Д. Вероятностный мир. М., Знание, 1981 (ЖЗИ).

Ну что же, проще всего было прийти к выводу, что это решение не имеет никакого отношения к физической действительности. Ведь и в обычной школьной задаче, где икс квадратного уравнения (скажем, число рабочих, построивших дом) может иметь два значения — положительное и отрицательное; отрицательное, естественно, отбрасывается, поскольку «минус рабочие» дом построить не в силах.

Но Дирак не мог поступить так просто. Он обратил внимание, что явно, казалось бы, нереальные частицы с отрицательной энергией могут тем не менее возникать из своих положительных «антиблизнецов».

Математика — математикой, но что должно было соответствовать таким превращениям в физическом мире?

Тут Дираку был подсказан выход. Только что швейцарец Вольфганг Паули, исследовавший, как движутся электроны в атоме, вдруг обнаружил, что эти стандартные частицы в каждой микроячейке пространства непременно отличаются друг от друга либо по энергии, либо по направлению движения. Всякая возможная в этой крохотной ячейке для электрона энергетическая позиция бывает или свободна или занята, причем если занята, то только одним электроном.

Получается, что электроны в состав атома «набираются» примерно так же, как, скажем, боксеры в команду: по одному каждой весовой категории.

Нам не раз придется возвращаться к этому принципу Паули, разбирая свойства вакуума, поэтому будет еще время поговорить о некоторых следствиях из открытия швейцарского физика. Сейчас же важен парадоксальный вывод, сделанный Дираком при сопоставлении собственных результатов с результатами Паули: все состояния с отрицательной энергией уже заняты электронами! «Все состояния» — здесь надо понимать буквально. Дирак говорит: «Этот океан (вакуум) заполнен электронами без предела для величины отрицательной энергии, и потому нет ничего похожего на дно в этом электронном океане». Сравнение с океаном (или морем) оказалось удачным. Вакуум нередко так и зовут «морем Дирака». Мы не наблюдаем электронов с отрицательной энергией именно потому, что они образуют сплошной невидимый фон, на котором происходят все мировые события.

Можно провести такую аналогию. Человеческий глаз видит только то, что движется относительно него.

И очертания неподвижных предметов мы различаем только потому, что человеческий зрачок сам постоянно движется. А многие животные (хотя бы лягушка), не обладающие таким аппаратом зрения, способны, не двигаясь, видеть только движущиеся предметы.

Вот мы, живущие в «море Дирака», оказываемся по отношению к нему в положении лягушки, застывшей на берегу пруда в ожидании неосторожного насекомого. Летящее насекомое-то она увидит и не шелохнувшись, пруд же (в безветренную погоду, конечно, без бегущей по воде ряби) для нее невидим. А в роли насекомого — для нас — выступают более редкие по сравнению с фоновыми электронами частицы с положительной энергией.

В 1956 году Поль Дирак приехал в Москву и выступил здесь с лекцией «Электроны и вакуум». Он напомнил в ней, что мы не так уж редко встречаемся в физике с объектами, вполне реально существующими и тем не менее до случая никак себя не проявляющими. Вот, скажем, невозбужденный атом, находящийся в состоянии наименьшей энергии. Он не излучает, значит, если на него никак не действовать, останется ненаблюдаемым. В то же время мы точно знаем, что и такой атом отнюдь не представляет собой нечто неподвижное: электроны движутся вокруг ядра, и в самом ядре идут обычные характерные для него процессы.

Так что ненаблюдаемость электронов вакуума в обычных условиях, во-первых, не есть что-то чрезвычайное и, во-вторых, никак не исключает того, что в вакууме могут происходить сложнейшие движения.

Мало всего этого: все элементарные частицы (а не один лишь электрон) без каких-либо исключений тоже имеют каждая по своему океану, и эти океаны накладываются друг на друга. И каждый из них бездонный.

Совершенно заумная картина, не правда ли? Как только можно было до такого додуматься?

Вы полагаете, сами ученые рады, что у них такое получается? Нет, конечно! Один из исследователей заметил: «Должно быть ясно, что даже самые смелые и наделенные самой богатой фантазией физики не осмелились бы всерьез предлагать подобные концепции, если бы их не вынуждали к этому накопленные экспериментальные данные».

При этом «фантазеры» часто выглядят словно напуганными размахом своей фантазии и поначалу оправдываются: мол, они и сами не рады. Так уж получается, никуда не денешься. Макс Борн категоричен: «Физики — не революционеры, скорее они консервативны, и только вынуждающие обстоятельства побуждают их жертвовать хорошо обоснованными представлениями»,

Думаете, только в наше время так, только в эпоху идей, от которых прямо требуют, чтобы они были безумными?

Блэз Паскаль, живший в XVII веке, обнаружив в природе пустоту, тоже оправдывался: «Все же не без сожаления я отказываюсь от этих взглядов, столь широко распространенных. Я это делаю, лишь уступая силе истины, которая меня к этому принуждает. Я сопротивлялся этим новым взглядам до тех пор, пока имел какой-нибудь предлог, чтобы следовать за древними». (Правда, это высказывание великого француза явно противоречит его же заявлению, приведенному в книге несколько раньше: будто он всегда считал, что природа не избегает пустоты.) Может быть, и современникам Паскаля его идеи тоже казались безумными? Во всяком случае и Борн и Паскаль одинаково жалуются, что истина их принуждает открывать себя...

Так или иначе, критерий истины — практика, а не впечатление, какое может произвести на неподготовленный ум то или иное теоретическое построение.

Другое дело, что через несколько десятилетий после открытий Торричелли и Паскаля каждый желающий мог поглядеть на вошедший в общий обиход барометр и лично удостовериться в правоте их обоих. Когда же речь идет об элементарных частицах, то посмотреть, что с ними происходит, могут как будто только физики-профессионалы в своих лабораториях. Впрочем, это именно «как будто». Положения квантовой механики, в том числе теоретические построения Паули и Дирака, легли в основу современной атомной энергетики. И, может быть, вы читаете эти строчки при свете, рожденном током, идущим от атомной электростанции.

Как же могла практика подтвердить положение теории об океане, который в принципе ненаблюдаем? А ведь смогла. Океан ненаблюдаем только до тех пор, пока вы на него определенным образом не подействовали. Когда же в «море Дирака» попадет, скажем, богатый

энергией световой квант — фотон, то он (при определенных условиях) заставит «море» выдать себя, выбьет из него один из бесчисленных электронов с отрицательной энергией. И это должно проявиться, утверждала теория, в рождении сразу двух частиц, которые уже вполне могут быть обнаружены в эксперименте: электрона (обычного, с положительной энергией и отрицательным электрическим зарядом) и антиэлектрона, тоже с положительной энергией, да еще и с положительным зарядом, за который ему и полагается приставка «анти».

Антиэлектрон был довольно скоро открыт в эксперименте, причем физиком, слыхом не слыхавшим об этой гипотезе Дирака. Затем обнаружили следовавшие из гипотезы антипротон и некоторые другие античастицы. А теперь физики твердо знают, что для каждой частицы в нашем мире должна найтись и античастица; правда, есть случаи, когда частица, как фотон, сама же себе по совместительству античастица.

Все это, повторяю, не придумано, а открыто, обнаружено, тысячекратно проверено и перепроверено. А теоретической основой для открытий послужил дираковский многоокеанный вакуум.

Всякая плодотворная гипотеза кладет начало удивительному извержению потока непредвиденных открытий.

Леон БРИЛЛЮЭН

Множество выводов следовало из теории Дирака и открытия позитрона и прочих античастиц. Родились такие популярные сегодня представления об антивеществе и даже об антимире, перед космологией встала задача поисков антивещества, а потом и решения проблемы, почему его, по-видимому, практически нет в нашей Метагалактике, и т. д. и т. п. Все это уже другая история, с которой, впрочем, то и дело пересекается занимающая нас с вами история о физическом вакууме. Для последней же важнее всего сейчас, что свойства физического пространства, по Дираку, определялись вакуумом как мировым материальным фоном. Впервые роль вакуума для Вселенной обосновывалась не догадками и даже не потребностью науки в такого рода среде, а формулами и расчетами, которые можно было проверить.

За минувшие полвека «море Дирака» не пересохло, только вода его стала несколько иной и волнения при-

обрели кое в чем другой характер. Частицы, принципиально не наблюдаемые и тем не менее взаимодействующие с теми, которые поддаются наблюдению, тоже несколько изменились, разумеется, только в представлениях ученых.

«Море Дирака», видоизменившись, обратилось в океан физического вакуума.

С теоретическими построениями Дирака были далеко не во всем согласны другие отцы-основатели квантовой механики. Но с тем фактом, что фотон, обладающий достаточной энергией, способен превращаться в пару частица—античастица, нельзя было соглашаться или не соглашаться.

Факт он и есть факт. А то обстоятельство, что это происходит в пустоте, в вакууме, указывало на сложность вакуума, требовало, чтобы в вакууме содержались электронно-позитронные пары и до того, как их «проявил» электромагнитный квант.

Вернер Гейзенберг, знаменитый немецкий физик, подчеркивал принципиальное значение работ Дирака над проблемой вакуума. До них считалось, что вакуум есть чистое ничто, которое, что бы с ним ни делать, каким преобразованиям ни подвергать, измениться неспособно, всегда оставаясь все тем же ничем. Теория Дирака открыла путь к преобразованиям вакуума, в которых прежнее «ничто» обращалось бы во множество пар частица—античастица.

К тому же представлению о скрытых в вакууме частицах вел другой путь — от законов, действующих в любых известных квантовой механике полях.

ЗА ОКЕАНОМ — ОКЕАН

Так что же дальше произошло с пустотой в уравнениях квантовой механики?

Мы никогда не должны забывать, что каждый успех нашего познания ставит больше проблем, чем решает, и что в этой области каждая новая открытая земля позволяет предположить существование еще не известных нам необъятных континентов.

Луи де БРОЙЛЬ

Еще в 1927 году Вернер Гейзенберг сформулировал основополагающее для квантовой механики соотношение неопределенностей.

Оказалось, что в любой квантовой физической системе относящиеся к ней величины не могут все сразу иметь точное значение. Вот самый простой пример. Об обычнейшем электро́не, одной из самых распространенных в нашем мире элементарных частиц, нельзя сразу точно узнать, каким импульсом он обладает и в какой точке пространства находится. Причем если вам понадобится точно узнать его положение, это можно сделать, только одновременно окажется, что даже приблизительную величину импульса назвать невозможно. Хотите определить импульс — пожалуйста, но учтите: тогда нельзя обнаружить, где же он, электрон, с таким импульсом. Разумеется, можно узнать кое-что и о координате и о импульсе электрона, однако это будет именно кое-что в обоих случаях. Стоит попытаться уточнить одну величину, чтобы потерять даже прежнюю степень точности в определении второй. Дело тут не в наших приборах, не в умении или неумении ставить эксперименты, дело в самой природе вещей.

Ну а какое отношение все это имеет к вакууму? Да самое прямое. Квантовая механика все частицы рассматривает как кванты того или иного поля и не признает самой возможности существования какого угодно участка пространства, где бы не было поля.

В вакууме это поле тоже есть, только поле с энергией, равной нулю, поле без реальных частиц. Точнее говоря, вакуум — целая система полей, ни в одном из которых нет реальных частиц (квантов). Это — электромагнитное поле без фотонов (электромагнитных квантов, обычно образующих такие поля), это пионное поле без пи-мезонов, электронно-позитронное поле без электронов и позитронов.

В физической системе по имени вакуум мы вроде бы можем одновременно узнать все ее характеристики, ведь здесь в любой точке все величины, которые могут заинтересовать ученого, должны как будто оказаться равны нулю, и точка эта тоже может быть точно установлена. Порадоваться бы, что нашлось исключение из принципа неопределенности, что хоть в вакууме квантовая система определяется с той категоричностью, к которой нас когда-то приучил макромир. Не тут-то было! Законы природы и установленные наукой принципы исключений не знают. Принцип неопределенности решительно требует, чтобы с какой-то вероятностью энергия, скажем,

связанная с любой определенной точкой вакуума, не равнялась нулю.

По законам той же квантовой механики для всякого поля характерны колебания. Раз поле есть, то оно должно колебаться. Такие колебания в вакууме часто называют нулевыми именно потому, что там нет частиц. Вот и получается удивительная вещь: колебания поля невозможны без движения частиц, но в данном случае колебания есть, а частиц нет! Как это можно объяснить? Физики говорят, что при колебаниях рождаются и исчезают кванты — те самые и все-таки не совсем те самые, которых, по определению, в вакууме нет. Колеблется электромагнитное поле — рождаются и пропадают фотоны. Колеблется пионное поле — появляются и исчезают пи-мезоны. Колеблется поле электронно-позитронное — и то же самое происходит с электронами и позитронами.

Как и вообще со всеми видами частиц, соответствующих любым полям, известным физике (впрочем, и теми, которые физике пока еще неизвестны).

Физика сумела найти компромисс между присутствием и отсутствием частиц в вакууме (имеются в виду не частицы дираковского фона с отрицательной энергией, а обычные частицы с положительной энергией). Компромисс такой: частицы, рождающиеся при нулевых колебаниях в вакууме, живут очень недолго, и чем они тяжелее, тем короче для них стремительно преодолеваемый путь от рождения к исчезновению.

Во всем этом есть один настораживающий момент. Получается, что частицы, рождаясь из «ничего» и приобретая при этом массу и энергию, нарушают тем самым неумолимые законы сохранения массы и энергии. Что это — исключение? Увы, законы сохранения исключений не знают. Тогда что же? Тут вся суть в том «сроке жизни», который отпущен частицам: он настолько краток, что «нарушение» законов можно лишь вычислить, но экспериментально его наблюдать нельзя. В принципе — нельзя.

В микромир бы мне пробраться,
В мир незримых величин,
В край, где корни коренятся
Всех последствий и причин;
В царство малых измерений
Вникнуть, где на миллион

Когда-то, классе в седьмом, я представлял себе закон сохранения вещества и закон сохранения энергии как двух могучих седобородых старцев. Изобретатели философских камней и вечных двигателей всякого рода суетились у них под ногами, ожидая, когда же бдительные старцы расслабятся и захотят на минутку отдохнуть. Но законы не берут отпуска...

Позже узнал, что место двух стариков заступил в современной физике подтянутый и строгий молодой человек по имени закон сохранения массы — энергии. Уж от его пронизательных глаз, кажется, ничего не утаить — на то он и Закон.

Оказывается, и эти зоркие глаза видят не все. Закон сохранения массы — энергии, такой всевластный и вседуший, отказывается действовать со всей строгостью в ничтожно малые промежутки времени. Солнца и планеты, живущие миллиарды лет, с одной стороны, атомы и частицы, срок жизни которых порой измеряется миллионными долями секунды — с другой, подчиняются ему с одинаковой покорностью. Иное дело частицы, живущие так мало, что этого в каждом конкретном случае и заметить нельзя. Закон сохранения не снисходит до того, чтобы следить за их судьбой, наблюдать за выполнением правил поведения, принятых как будто одинаково в мега-, макро- и микромире. По замечанию одного из физиков, частица в данной ситуации ведет себя как касир-мошенник, регулярно успевающий вернуть взятые из кассы деньги прежде, чем это заметят. Родилась частица из «ничего» и тут же умерла. «Тут же» для такого мгновенного нейтрона означает срок жизни примерно в 10^{-24} секунды, мгновенный электрон полегче, то есть масса у него меньше в две тысячи раз, он может просуществовать в две тысячи раз дольше нейтрона, примерно 10^{-21} секунды. Обычный же свободный нейтрон живет минуты, а в составе атомного ядра даже неопределенно долго, как неопределенно долго способен жить и электрон, если его не трогать. Законы же сохранения, как видите, не надолго оставляют в покое своих нарушителей.

Называют эти эфемерные частицы в отличие от обычных, реальных — виртуальными. В точном переводе с латыни — возможными. Для философов открывается широкое поле приложения к конкретной картине физического вакуума давних научных рассуждений о том, чем возможное отличается от действительного и т. п.

Тем не менее сам по себе смысл названия не должен настраивать на то, что данные частицы только возможны, раз именуются виртуальными, и что на самом деле их нет. Ведь то, чего нет, не может воздействовать на что бы то ни было. А возможные частицы в вакууме вполне реально воздействуют, как наблюдается в точных экспериментах, на вполне реальные образования из безусловно реальных элементарных частиц и даже на макроскопические тела.

Чем, кроме ничтожно малого времени существования, отличаются виртуальные частицы от своих двойников из реального мира?

У них, «нарушителей» закона сохранения массы — энергии, нет обычного соотношения между энергией, импульсом и массой. Зато все остальные характеристики вполне добропорядочные. Электрон остается электроном и в виртуальном состоянии, как протон — протоном и т. д.; они сохраняют свои заряды и прочие типовые свойства с завидным постоянством, вот только очень недолго, между рождением и исчезновением.

Эфемерность виртуальных частиц ведет к тому, что абсолютно невозможно, по современным представлениям, такие частицы обнаружить экспериментально, зафиксировать: они не оставляют следа в физических приборах.

Так что же, их существование, вытекающее из математических расчетов, так и остается чисто бумажным феноменом, в который вольно верить или не верить, феноменом, могущим исчезнуть с изменением теории?

Физики полагают, что нет. У них в арсенале есть, кроме математики, тончайшая экспериментальная техника. И если ей не дано обнаружить отдельные виртуальные частицы вакуума, то суммарное их воздействие на обычные частицы опыт замечает.

Вот атом водорода: ядро из одного протона, вокруг которого движется электрон. (Сейчас электрон на сво-

ей орбите не представляется чем-то вроде твердого шарика, это скорее облачко, размазанное на определенном расстоянии от ядра по всей орбите.)

Влияние виртуальных частиц заставляет электрон хаотически отклоняться то в одну, то в другую сторону от пути, по которому он бы двигался, если бы таких частиц не было вовсе. Это явление так и называют вакуумным дрожанием электрона. Водородный электрон — частица вполне реальная, полностью подчиняющаяся закону сохранения массы—энергии; колебания электрона на орбите ведут поэтому к изменению величины его потенциальной энергии. А такое изменение хорошо фиксируется. Носит само это явление имя лэмбовского сдвига уровней линий атома — в честь американского физика У. Лэмба, который вместе со своим соотечественником Р. Ризерфордом впервые обнаружил такой сдвиг в 1947 году.

И магнитный момент электрона (он характеризует взаимодействие частицы с внешним магнитным полем) тоже несет в самой своей величине следы влияния виртуальных вакуумных частиц. Несет столь ясно, что экспериментально найденный магнитный момент электрона так и называли когда-то аномальным, настолько он не соответствовал тогдашним предсказаниям теории. Теперь «аномальный» — определение историческое, выкладки на основе квантовой теории поля с учетом влияния вакуума отлично совпадают с результатами опытов.

Вот еще пример. Фотоны согласно теории Максвелла между собой взаимодействовать не должны. А в эксперименте такое взаимодействие, пусть очень небольшое, обнаружено. Виноваты опять-таки виртуальные частицы.

Наблюдать воздействие вакуумных виртуальных частиц оказалось возможно не только в опытах, где изучается взаимодействие элементарных частиц, но и в эксперименте с макротелами. Две пластинки, помещенные в вакуум и приближенные друг к другу, под ударами виртуальных частиц начинают притягиваться — этот факт был открыт в 1956 году голландским теоретиком и экспериментатором Гендриком Казимиром и получил в его честь название — эффект Казимира. По сути, абсолютно все реакции, все взаимодействия меж-

ду реальными элементарными частицами происходят при обязательном участии вакуумного виртуального фона, на который элементарные частицы, в свою очередь, тоже влияют.

Необходимо сказать, что виртуальные частицы, по современным физическим представлениям, возникают не только в вакууме. Их порождают и обычные частицы. Электроны, скажем, постоянно испускают и тут же поглощают виртуальные фотоны с такой быстротой, что выигрыш в энергии за краткий срок существования такого фотона в принципе не может наблюдаться.

Более того, любые взаимодействия между элементарными частицами можно рассматривать как включающие в себя испускание и поглощение частиц виртуальных, обмен ими.

Далее. Реальный электрон притягивает к себе виртуальные позитроны и отталкивает виртуальные электроны — по знакомому нам всем со школьных лет закону притяжения разноименных и отталкивания одноименных электромагнитных зарядов. В результате вакуум поляризуется, поскольку заряды в нем оказываются разделенными пространственно.

Электрон, окруженный слоем виртуальных позитронов, оказывается за настоящим экраном из таких частиц, и это уменьшает так называемый эффективный заряд электрона, проявляющийся в его взаимодействиях с другими частицами.

Поляризация вакуума, как вы увидите дальше,— процесс, который должен играть чрезвычайно важную роль во многих физических событиях.

Каждая элементарная частица, как сегодня представляется физикам, движется в сопровождении целой свиты из частиц виртуальных. Член-корреспондент АН СССР Д. И. Блохинцев писал: «...В результате поляризации вакуума вокруг заряженной частицы создается связанная с ней заряженная «атмосфера».

Но гораздо чаще облако виртуальных частиц вокруг частицы обычной сейчас именуют шубой и даже не ставят кавычек. Шуба может состоять из нескольких слов, она пульсирует: то появляется, то исчезает, оставляя свою носительницу «голой». Как же не считаться с таким одеянием?

Теперь, когда в теории речь идет об элементарной частице без неизменных ее виртуальных спутниц, спо-

собных настолько видоизменять некоторые ее свойства, физики говорят о ее затравочной массе и о ее затравочном заряде, причем признают, что их свойства определены плохо. Виртуальная свита мешает разглядеть как следует знатную особу, которую она сопровождает.

Человек сейчас занимается такими проблемами, что у него дух захватывает и кружится голова. Однако пока вы не почувствуете легкого головокружения, вам не удастся понять их суть. Проблемы важнее решения. Решения могут устареть, а проблемы остаются.

Нильс БОР

ПРОСТОТА СЛОЖНОСТИ И СЛОЖНОСТЬ ПРОСТОТЫ

Ситуацию, в которой квант света, столкнувшись с другой частицей и отдав ей энергию, порождает электрон и позитрон, можно представлять по-разному. Можно так: квант света превратился в электрон и позитрон. Можно по Дираку: позитрон — только дырка в фоне электронов с отрицательной энергией, дырка на месте одного из них, выбитого фотоном.

Есть и третий подход. Если из вакуума родилась пара частица—античастица, то дело может обстоять и так, что пара эта не родилась, не образовалась и не появилась в момент, когда мы смогли за нею проследить, на самом деле частица и античастица были в вакууме и прежде, но в скрытом виде, а квант своей энергией только проявил пару, дал ей наблюдаемое и, так сказать, легальное положение в мире.

Все такие подходы, можно сказать, сосуществуют в физике на равных правах, это описания одного и того же явления с разных точек зрения, разными словами.

Мы уже привыкли к дуализму в квантовой механике. Привыкли и не удивляемся, когда в одних случаях говорят о радиоволнах, в других о квантах электромагнитного излучения на радиочастотах, хотя и то и другое — разные названия одних и тех же вещей.

Эта привычка наша — дань великому принципу дополнительности. Его можно назвать при желании оборотной стороной того принципа неопределенности, в силу

которого, в частности, перед нашим сознанием возник населенный виртуальными частицами вакуум.

Мы не можем узнать о частице-волне сразу все, вот и приходится смотреть на нее с разных сторон, то в профиль, то анфас, то как на частицу, то как на волну.

Мы пришли в микромир уже с умением видеть и описывать виденное, но с умением, приобретенным за века исследования макромира. Мы взяли сюда с собой опыт и язык классической физики, ее понятия и термины. Говоря о координатах элементарных частиц и их импульсах, мы называем свойства микрообъектов словами, доказавшими свою пригодность для тел макроскопических, однако порой явно не очень подходящими, когда речь идет о событиях в микромире.

Многие физики считают, что сама форма квантовой теории нуждается в доработке, которая бы сделала ее более удобной для описания микромира...

Принцип дополнительности, надо подчеркнуть, связан не с формой, а с содержанием квантовой теории, более того — с тем, как устроен мир. Принцип этот, сформулированный Бором, гласит: получение в эксперименте информации об одних физических величинах, описывающих микрообъект, неизбежно связан с потерей информации о некоторых других величинах, дополнительных к данным. Дополнительные друг для друга, например, координата частицы и ее импульс.

Двойственность элементарных частиц, их природа, требует разных описаний, дополняющих, а не исключающих друг друга.

При этом — вполне в духе самого принципа дополнительности — только что сказанное надо дополнить вот чем. К принципу дополнительности физики пришли, когда обнаружили, что при экспериментах с элементарными частицами исследователь сам же, с помощью своих собственных действий, себе и мешает.

Об элементарных частицах мы что-то узнаем обычно по результатам их встреч с другими частицами, играющими роль зондов. В квантовом мире такие встречи частиц изменяют их свойства. А приборы, в которых мы регистрируем частицы, по природе своей всегда — объекты макроскопические. Прибор искажает то, что исследует! Акт наблюдения изменяет наблюдаемое!

Снова слово Вольфгангу Паули: «Чтобы понять смысл дополнительности, необходимо представить себе

объекты, которые начинают двигаться всегда, как только вы посмотрите на них с помощью прибора, предназначенного для определения их положения. Конечно, это не имело бы никакого значения, если бы вы могли рассчитать это движение и определить теоретически возмущение, обусловленное измерением. Ну а если это возмущение нельзя держать под контролем даже в принципе?»

Надо заметить еще раз, что дело тут не только в приборах. Сама природа микрообъектов двойственна. Чтобы увидеть действительность возможно более полно, приходится одни описания микрообъектов дополнять другими.

Именно приходится, суровая необходимость заставляет. В микромире нет для ученых другого пути. Но только ли там? В последние десятилетия многие области знания, вовсе не имеющие как будто дела с микрообъектами, словно позавидовали трудному положению микрофизики и стали заимствовать — более или менее решительно и удачно — ее опыт создания таких разных картин одного события или объекта, которые дополняли бы друг друга.

Собственно, к этому общему применению своего принципа призывал и сам Бор. Он писал: «Цельность живых организмов и характеристики людей, обладающих сознанием, а также и человеческих культур, представляют черты целостности, отображение которых требует типично дополнительного способа описания».

Доклады о принципе дополнительности делают на конференциях психологов, биологов, историков; появляются теоретические работы, обосновывающие применение взаимоисключающих «дополнительных» классов понятий в литературоведении. Но, право же, сама литература давно демонстрирует нам применение при описании людей собственного принципа дополнительности. Сложный мир шекспировских героев, внутренняя противоречивость героев Достоевского — можно без труда увидеть у великих писателей многосторонность подхода к людям.

Представьте себе, насколько разным выглядит Жюльен Сорель в «Красном и черном» Стендаля для Метильды де ля Моль, с одной стороны, и ее отца — с другой: перед нами оказываются типично дополнительные описания.

Ну а жизнь в применении этого принципа опередила литературу, как та — физику. Испокон веку люди выглядели по-разному для разных наблюдателей, по-разному проявляли себя в разных условиях... Рискну даже сказать, что необычность квантового мира заставила физиков осознать принцип, с которым человечеству давно уже приходится сталкиваться.

Велика сложность Вселенной на микроуровне, но ведь и на всех остальных уровнях мир совсем, совсем не прост. Недаром же один из физиков задал вопрос: «Не объясняются ли наши успехи в физике ее простотой»?

Да, знакомство с законами микромира повергало в смятение самих же открывателей этих законов. Альберт Эйнштейн и Макс Планк не хотели поначалу соглашаться с положениями, к которым их же самих приводила логика собственных теоретических изысканий, не говоря уже о тех истинах, которые открывали их коллеги.

Вошли в анналы истории дискуссии, которые вели эти и другие крупнейшие физики, оспаривая те или иные положения квантовой механики. В спорах оттачивались формулировки законов мира, который принято называть странным за то, что в нем нельзя сразу узнать и координаты частицы, и ее импульс, за то, что в нем, по выражению Эйнштейна «бог играет в кости»; за то, что в нем у частиц вообще нет определенных траекторий...

Нередко говорят, замечает Виктор Вайскопф, один из крупнейших физиков XX века, что в атомном мире словно бы не хватает реальности. Перед нами призрачные образования, подчиняющиеся законам, которые будто не природой заданы, а изданы сумасшедшим королем.

С заменой резерфордовской модели атома, так напоминающей Солнечную систему, моделью более совершенной, где вокруг ядра летает не твердый шарик, а размазанное по орбите облачко, с появлением модели атомного ядра, частицы которого удерживаются вместе благодаря обмену другими частицами, ясность, кажется, исчезает из микромира. Но это только кажется. Виктор Вайскопф обращает внимание на то обстоятельство, что в некоторых и даже многих отношениях мир, которым занимается квантовая механика, куда определенной и яснее родного нам макромира. Во всяком случае он построен из гораздо более однородных и стандартных деталей. У нашего Солнца девять больших спутников и сотни мелких, двойников меж них нет. Сколько звезд на

небе! Сколько их в космосе, ближнем и дальнем! Между тем астрономов наверняка потрясло бы открытие двух совершенно одинаковых звезд, хотя теория вероятности этого в принципе и не запрещает.

Когда и вправду были обнаружены астрофизиками два чрезвычайно похожих квазара, ученые не успокоились, пока не выяснили, что на самом деле мы видим на небе два изображения одного и того же квазара.

И попробуйте-ка найти два неотличимых друг от друга дерева, два абсолютно идентичных микроорганизма, два полностью похожих друг на друга булыжника. Две любые песчинки на пляже окажутся под микроскопом хоть в чем-то, да разными.

А вот два электрона с одинаковой энергией неотличимы друг от друга. То же относится ко всем остальным электронам (с поправкой насчет энергии, которую каждый из них несет), относится до такой степени, что великий мастер физического парадокса Джон Уилер как-то предложил даже считать, что все электроны мира — один-единственный электрон.

Именно эта суперстандартность микромира обеспечивает макромиру, во всем его многообразии, устойчивость и единство. Виктор Вайскопф констатирует: «До того, как мы стали пользоваться квантовой теорией, наше понимание природы совершенно не соответствовало первому из ее наиболее очевидных свойств, а именно точности и определенности свойств веществ».

Человек давно уже умеет выделять в многообразии природы отдельные наиболее важные стороны, на время отвлекаясь от остальных. Когда он делает это в уме, мы говорим об абстрактном мышлении. Но получение серебра из руды тоже ведь именно такая «абстрагирующая» операция, только проделанная на практике. Два слитка серебра несравненно больше похожи друг на друга, чем те порции руды, из которых они произведены. А два атома серебра вообще невозможно отличить один от другого.

Квантовый мир, фундамент макромира, гораздо более однообразен, чем здание, построенное на нем.

Миллионы видов живых существ! Миллионы химических соединений! Многие тысячи разновидностей минералов! И притом один кристалл кварца может не только быть больше или меньше соседнего такого же кристалла, но и отличаться от него особенностями струк-

туры, пузырьками жидкости или газа, трещинками, следами воздействия эрозии. Да красотой, наконец! Как и многим другим.

А вот составляющие кристалл атомы кремния, как и атомы кислорода и прочих элементов, похожи на все остальные атомы своей породы.

И все, абсолютно все химические элементы таблицы Менделеева созданы комбинациями одних и тех же трех частиц — протона, нейтрона и электрона (разумеется, с участием виртуальных частиц, таких, как виртуальные фотоны, например).

Это — уже прописная истина. Я напоминаю ее, чтобы объяснить, почему квантовая картина Вселенной не только в чем-то более сложна, но во многом и более проста, чем та, привычная, которую мы способны видеть не только умственным взором, но и просто — видеть.

Более сложна, потому что подчиняется другим законам, чем привычная нам «верхняя» часть физического мира.

Более проста, потому что построена из набора стандартных деталей. А каждая из таких деталей — из других, таких же стандартных.

Не исключено, впрочем, что мы просто не умеем различать, так сказать, индивидуальности элементарных частиц. Академик В. А. Фок заметил как-то, что, принимая все элементарные частицы одного сорта тождественными друг другу, мы, вероятно, делаем очень сильное допущение. Так, может быть, все электроны только кажутся нам неотличимыми, как отдыхающему на пляже представляются одинаковыми все песчинки, пока ему, скажем, не вздумается захватить с собой на берег микроскоп (или увезти горсть песчинок в химическую лабораторию)?

Но этот вопрос все-таки, пожалуй, риторический.

Пока что все указывает именно на суперстандартность обитателей микромира. И те его загадки, которые удалось решить, и те, которые сейчас решаются, даже сами по себе, без ответов на них, демонстрируют верность микромира принципу: такая же частица — значит, точно, абсолютно такая же.

Это сегодня само собой разумеется и в общепризнанных теоретических положениях и в самых экзотических и эксцентричных гипотезах.

Индивидуальными, то есть хотя бы частично непред-

сказуемыми, в микромире можно назвать только некоторые события — результат взаимодействия между стандартными частицами (вступает в свое действие «статистическая вероятность»).

В чем, собственно, самое, пожалуй, поражающее воображение (во всяком случае, воображение автора книги) отличие законов микромира от «наших» законов?

Не в том даже, что частицы здесь одновременно волны и наоборот.

Труднее, оказывается, привыкнуть к другой особенности микромира, хоть она и прямо связана с только что названной и даже является ее следствием. Выяснилось, что говорить о траектории любой микрочастицы — от фотона до протона — можно только условно, и «Физика микромира», маленькая энциклопедия, констатирует: «Квантовая частица не движется по траектории...»

...Через узкую щель пропускают по одному электрону, которые затем попадают на фотопленку. В месте попадания возникает крохотное, почти точечное пятнышко. И хоть электроны «стандартны», плюс каждый из них наделен в опыте одним и тем же импульсом, пятнышки возникают в разных местах, и в том, куда именно попадает каждый из электронов, закономерности углядеть как будто нельзя. Словно рулетка, выбрасывающая случайные числа, управляет этим распределением. Зато когда пятнышек накапливается много, в их распределении четко видна закономерность. Хаосом порождается порядок.

Куда попадет частица, предсказать нельзя; как распределяются попадания множества частиц, предвидеть можно.

Поэтому говорят, что здесь действуют вероятностные законы.

Теория вероятностей давно привлекалась физикой — и не только физикой — к решению множества проблем. С помощью вероятностных методов определяют, скажем, каковы скорость молекул газа и средняя длина свободного пробега одной молекулы газа до ее столкновения с другой такой же молекулой. Если бы мы в принципе знали точно начальную скорость молекулы, точки, в которых она столкнется с другими, скорость и этих молекул и т. д., то можно было бы уверенно сказать, каковы будут скорость и направление интересующей нас частицы газа после любого числа столкновений.

В квантовой механике в принципе нельзя знать траекторию движения микрочастицы, ведь траектории-то по-настоящему нет... Так о какой же простоте говорил Вайскопф?

Чтобы хоть как-то ответить себе на этот вопрос, вернемся на минуту в наш большой, привычный мир — макромир. Здесь, как мы знаем, любая траектория поддается вычислению, уже хотя бы потому, что она есть. И все-таки между принципиальной возможностью и ее осуществлением тут тоже есть некоторая разница. Ньютон решил «Задачу двух тел» — нашел способ определять траекторию двух тяготеющих друг к другу «макрообразований». С тех пор были до деталей вычислены траектории планет Солнечной системы, некоторых комет и т. д. Но... и поныне не решена в общем виде «проблема трех тел»: слишком сложна оказалась эта физико-математическая задача. Что же говорить о ситуациях, когда надо учитывать взаимовлияние множества космических светил!

Выходит, и наш большой мир не так уж прост...

Квантовый мир в какой-то мере расплачивается с исследователями за невозможность определить путь одной частицы возможностью знать, что происходит, когда таких частиц много.

...Если размышлять об опытных данных современной физики, то легко прийти к выводу, что всегда должна быть принципиальная дополнительность между размышлением и решением.

Вернер ГЕЙЗЕНБЕРГ

Если уж наука, исследующая макромир, примеряется к принципу дополнительности, то, может быть, в арсенале квантовой физики немало найдется и других завидных принципов, законов, гипотез, способных дать всходы и на «чужой» почве.

А вакуум, главная трудность и главная проблема — по Дираку — всей физики, открывается нам за каждым поворотом хитроумной квантовой теории, как и за экспериментальными фактами и наблюдениями в физических лабораториях.

...Задача науки заключается в том, чтобы видимое, лишь выступающее в явлении движение свести к действительному внутреннему движению...

Карл МАРКС

ВСЕ СИЛЫ МИРА

Две главы назад мы говорили о том, что каждая настоящая частица живет на свете в шубе, которой ее снабжает вакуум. И о том, что при встрече двух частиц, взаимодействии их, так или иначе соприкасаются и шубы (добавлю: случается, что «кусоч» шубы при этом «отрывается» и начинает самостоятельную жизнь).

Судя по всему, роль вакуума не ограничивается поставкой одного лишь материала для шубы. Есть немало ученых, именно во влиянии вакуума ищущих ключ к объяснению того, как, по каким законам действуют в нашем мире главные природные силы. А какие они, эти силы? И сколько их?

Великий древнегреческий драматург писал: «В мире много сил великих...» Но его современники — философы — полагали, что основных, главных сил в мире совсем, совсем немного. И были, по-видимому, правы. Все известные нам сегодня силы сводятся к четырем фундаментальным. Всего-навсего.

Камень падает наземь, Луна движется вблизи Земли, как на привязи, — все это проявления гравитации. И она же не дает развалиться Земле, разлететься на куски Солнцу и звездам.

Но гравитация слишком слаба, чтобы сохранять единство камня, молекулы, атома и атомного ядра. Сила гравитации, движущая мирами, самая немощная из четырех известных ныне сил взаимодействия. А самое мощное то, которое так и именуют сильным, и по заслугам. Оно удерживает вместе протоны и нейтроны, причем сильное взаимодействие между двумя протонами в сто квинтильонов квинтильонов (в 10^{38}) раз мощнее, чем гравитационное взаимодействие между ними же.

Впрочем, по представлениям, сложившимся в последние годы, притяжение между ядерными частицами — лишь проявление более глубинных свойств материи; иначе говоря, источниками сильного взаимодействия, носителями зарядов его служат истинно элементарные частицы — кварки.

...В тот летний месяц 1967 года по крайней мере в одном из каждых трех телефонных редакционных разговоров мои собеседники поминали некий физический эксперимент. Нет, далеко не все они были физиками. Прогнозист, занимающийся будущим науки, биолог, вер-

нувшийся с конференции по кибернетике, химик... Неважно! Тема касалась всех. И я слышал в трубке:

- Кажется, найдены!..
- По-видимому, нет...
- Может быть!...
- Похоже, что да...
- Вероятно...
- Ерунда!..
- Как сказать...

Ученых всех специальностей объединяет привычка горевать по поводу того, что между разными областями науки не налажена передача информации. История, о которой здесь идет речь, свидетельствует, что положение совсем не так уж плохо.

Волнение ученых, даже самых далеких от проблемы, понятно. Решалась судьба теории, затрагивающей самые основы строения мира.

За несколько лет до того в сложном мире частиц удалось усмотреть стройность, систему, симметрию, а значит, и красоту.

Физики Гелл-Манн и Цвейг показали, что эта симметрия находит естественное объяснение при условии, что тяжелые частицы состоят из совершенно «неестественных» частиц с непривычным дробным зарядом — кварков. Что же, за красотой должна скрываться истина. Физики никогда не согласятся с пессимистическим утверждением поэта:

Да, истине враждебна красота,
Суров их спор и вечны их разлады,
И в мире есть две партии всегда:
Здесь варвары, а там — сыны Эллады.

Но «варварские» наклонности физиков проявились в том, что они стали проверять красоту.

На всякую гипотезу должен найтись эксперимент. Вот ход такого эксперимента и интересовал ученых всех специальностей.

Если бы кварки удалось найти, значит, окончательно была бы подтверждена последняя (в ту пору) научная систематизация частиц. Впрочем, здесь нагляднее всего сравнение. Открытие кварков имело бы не меньшее значение, чем открытие в атоме ядра. И очень похоже, что практические последствия его были бы отнюдь не менее важны (хотя, будем надеяться, менее опасны).

Кварк занял уже в представлениях ученых то место, которое в конце XIX века принадлежало атому, тогда тоже еще не увиденному, не открытому, а лишь теоретически предполагаемому. Ученые просто считали, что молекулы (эти наименьшие из общепризнанных девяносто лет назад частиц), должны слагаться из каких-то частей.

По мнению значительной части физиков, из кварков складывается большинство частиц, прежде считавшихся элементарными.

А фантасты за рубежом уже писали о кварковых бомбах...

Эти частицы, пока теоретические, значит, полумифические, искали в середине и конце шестидесятых годов всюду. В космических лучах и в воде океанов, в недрах планеты и в воздухе, в веществе метеоритов и на Солнце. Ищут их и сейчас.

Каждому из нас случалось отыскивать знакомого в толпе незнакомых. Здесь же дело обстоит как раз наоборот. Среди «знакомых» протонов, нейтронов, электронов и иных известных частиц надо найти кварк. Правда, в руках ученых — его описание. Если кварк есть, то... его заряд составляет (в зависимости от сорта кварка) лишь $\frac{1}{3}$ или $\frac{2}{3}$ заряда электрона, до сих пор считавшегося элементарным, то есть таким, меньше которого не бывает.

Гипотеза о существовании свободных кварков утверждала, что на каждый триллион (10^{12}), а то и на каждые 10 миллиардов тяжелых ядерных частиц-нуклонов должен прийти хотя бы один кварк. Работа советских физиков В. Б. Брагинского, Я. Б. Зельдовича, В. К. Мартынова и В. В. Мигулина (они подвешивали в магнитном поле крошечные кусочки графита и измеряли, каков их электрический заряд) показала, что даже на 100 квадрильонов (10^{17}) нуклонов не приходится ни одной частицы с дробным зарядом, то есть ни одного свободного кварка.

Не получили положительных результатов и итальянские физики во главе с Морпурго, которые также искали кварки в частичке вещества, подвешенной в магнитное поле.

Пришлось перенести разочарование — после больших надежд на близкий успех — и другим искателям кварков. Группа американских ученых во главе с Адейром

совсем уж как будто нащупала кварки в космических лучах. Полгода счетчики американцев свидетельствовали о попадании в них дробных частиц. А потом перестали свидетельствовать, и до сегодняшнего дня продолжают вести себя так же.

Даже наше родное Солнце обмануло оптимистов-кваркологов: американские физики нашли в его спектре линии, которые можно было объяснить присутствием кварков; увы, вскоре нашлось объяснение понадежнее и достовернее...

Неудачной оказалась попытка группы американцев найти дробные заряды в парах морской воды и многих других веществ.

Драматизм ситуации усугублялся тем обстоятельством, что у теоретиков дела с кварками обстояли куда лучше, чем у экспериментаторов. В теории кварки оказались вполне на месте, позволив объяснить многие непонятные ранее факты. Ядерные реакции проходили так, будто кварки действительно существуют. Например, советские физики Е. М. Левин и Л. Л. Франкфурт, а также Дж. Хиккин за рубежом установили, что соударение частиц высокой энергии во многих случаях происходит так, как будто сталкиваются не просто частица с частицей, но кварки одной из них попарно соударяются с кварками другой.

Появились, однако, свои затруднения и у теоретиков.

Долго никак не могли они, например, объяснить, что именно собирает кварки в элементарные частицы и удерживает их вместе.

Предыдущие абзацы так и пестрят словами о разочаровании, крахе надежд, «обмане» (со стороны Солнца) и прочем.

И действительно, обидно, когда вам же самим приходится опровергать предсказания, в которые вы искренне верите.

Я уж не говорю о том, что открытие кварков было бы записано золотыми буквами во все учебники вплоть до школьных и осталось там на ближайшие тысячи лет; закрытие же, обойдя научные журналы, попадет в лучшем случае в учебники вузов, да и там будет напечатано петитом, а то и мельчайшей нонпарелью.

А между тем разве трудность эксперимента уменьшилась хоть на йоту оттого лишь, что он дал отрицательный результат? Последний ведь зависел не от ученых,

а от природы! Они сделали, что могли. И еще говорят о своем разочаровании!

Что же, когда физики и химики XVIII века не обнаружили в эксперименте очень нужного для объяснения многих явлений теплорода (жидкости, якобы переносящей тепло от тела к телу), то они, может быть, тоже почувствовали разочарование. Ведь был получен отрицательный результат (принявший, между прочим, форму закона сохранения вещества).

Я не собираюсь сравнивать значение этих двух «закрываний», но разве сами ситуации тут не похожи?

И верным остается старое утверждение: «Кто ищет, тот всегда найдет». Правда, случай с кварками снова доказывает как будто, что далеко не всегда находят именно то, что ищут. Но это только «как будто». Искали-то ведь ученые разных стран не кварки, а истину о них. И нашли ее.

Так нет, выходит, кварков? Одну минуточку! Опыты показали только, что в природе нет, вероятно, свободных кварков, не успевших соединиться по трое, образовав обычные элементарные частицы.

(Высказывается, правда, предположение, будто кварки в свободном состоянии могут существовать, но они обладают такой большой массой, что с помощью современной экспериментальной техники их попросту невозможно извлечь).

Но ведь и свободные нейтроны найти в обычном веществе чрезвычайно трудно; это, однако, никак не мешает тому обстоятельству, что нейтроны входят в ядра всех элементов (кроме водорода). И потом, может быть, еще не все возможности использованы? Ведь и свободные нейтроны можно получить в ядерных реакциях.

Словом, отсутствие свободных кварков не стало концом кварковой гипотезы строения вещества.

Физика XX века насыщена великими сражениями, и проблема кварков, казалось бы, лишь одна из многих. Но, мне кажется, кварки искали тогда, лет пятнадцать—двадцать назад, иначе, чем в далеком уже прошлом позитрон, в относительно недавнем прошлом нейтрино или в настоящем гравитационные волны: более страстно, более эмоционально, пожалуй, даже более нервно, что ли. Узнать, что кварки открыты, а там можно и умереть — так выражались весьма солидные и отнюдь не славящиеся бурным темпераментом, прожившие большую жизнь

физики. Те физики, что сами работают в другой области этой науки, говорили о кварках гораздо больше, чем следовало бы. Искателей и любознательных объединял здесь не просто научный интерес, а нечто большее.

Послушайте академика Игоря Евгеньевича Тамма: «Самое большое мое желание — дожить до момента, когда будет создана новая система частиц, и быть способным ее понять». А ведь перед глазами ученого прошла вереница блестящих открытий, а в некоторых из них, изменивших сам стиль физического мышления, он сам был участником. И вот... Если бы речь шла просто о новом знании, вряд ли это было бы способно вызвать такие эмоции.

В чем же дело? Почему именно кварки, а не что-либо другое из богатого арсенала предсказаний, сделанных современной наукой, приковали к себе мысли и чувства физиков?

Похоже, за проблемой кварков стоит тоска по простоте и порядку...

Кварки с самого начала сулили возврат на новом витке спирали к добрым старым временам простой физики. Разумеется, простой не вообще, а для них — физиков. Ученые хотят увидеть узор кирпичиков, из которых построен мир. Они убеждены, что этот узор должен быть красивым.

Все существующие идеи в науке родились в драматическом конфликте между реальностью и нашими попытками ее понять.

*Альберт ЭЙНШТЕЙН
Леопольд ИНФЕЛЬД*

Так вот уже было когда-то...

По Аристотелю, например, планет было семь, чувств пять, стихий четыре плюс эфир. Все вещества на свете были сделаны из смесей частичек этих четырех стихий-элементов. Все было красиво, удобно и изящно. Потом планет оказалось, если считать и астероиды, бог весть сколько тысяч; чувств нашлось несколько десятков добавочных, а элементов в природе насчитали что-то около девяноста. Обнаружив все это безобразие, ученые стали приглядываться к тому, что они обнаружили, и их эстетическое чувство было оскорблено. Именно эстетическое, потому что ученый более чем кто-либо другой чувствителен к красоте и изысканности своих построений.

«Некрасивое уравнение неверно», — гласит древний математический афоризм. Все сложное должно быть сведено к простому, многообразие к четким и однозначным элементам — вот, считают многие, условие успеха почти всякой научной работы.

Великий химик А. М. Бутлеров так и говорил: «Бесконечное разнообразие явлений сводится к малому числу причин». И его очень не устраивало то, что бесконечное разнообразие мира сводится к столь основательному числу разновидностей атомов химических элементов.

Потом физики выяснили в общих чертах строение атома, и химики смогли спокойно вздохнуть. Оказалось, что «причин» всего две — электрон и протон, что все атомы сложены из них. Простота достигнута! Эта идиллическая картина простого мира продержалась до 1932 года, когда стало ясно, что физики не решили проблему, а только переняли ее с плеч химиков на свои собственные. С 1932 года началась эпопея открытия все новых и новых частиц. Сначала — нейтрон. Нейтральная частица, входящая в состав ядра. Число «первооснов мира» оказалось доведенным до троицы. Тут бы и остановиться, но в том же году был открыт позитрон — электрон, имеющий вместо отрицательного заряда положительный.

Вскоре любимой присказкой физиков стала поговорка: чем дальше в лес, тем больше дров, а любимой сказкой — история о волшебной мельнице, которая все мелет и мелет соль и до того домололась, что море стало нынче соленым. Впрочем, физики не собирались пользоваться для шуток только материалами народного творчества. Один из них подсчитал, что с 1911 года число элементарных частиц удваивается каждые одиннадцать лет. Число физиков тоже. Как настоящий ученый, автор подсчетов, связав эти два факта, тут же занялся прогнозами. Предположим, решил он, что число частиц удваивается все-таки чуточку быстрее, чем число физиков. Что на удвоение числа физиков уходит на один процент больше времени, чем на удвоение числа частиц. Тогда к 15160 (!) году нашей эры на планете Земля будет столько физиков, сколько открыто будет к тому времени элементарных частиц. И каждый физик сможет специализироваться на своей собственной частице.

Физики смеялись сквозь слезы. Наиболее оптимистичные из них пытались определить, сколько же частиц

можно открыть. Американец Гелл-Манн (тот самый, что позже стал крестным отцом кварков) остановился на скромной цифре в несколько тысяч.

Но даже пока частицы насчитывались лишь десятками и сотнями, их систематизировать все равно нужно было. И физики принялись объединять их в семьи по родственным признакам. Собственно, не надо быть специалистом-физиком, чтобы установить эти родственные связи, разглядывая список элементарных частиц с указанием их свойств.

Протон и нейтрон, например, роднит между собой не только общее место жительства — атомное ядро. Силы, связывающие в ядре протон с протоном, протон с нейтроном или два нейтрона между собой, совершенно равны. По массе нейтрон лишь чуть тяжелее протона, чуть-чуть даже в масштабах микромира.

Итак, протон и нейтрон — братья-близнецы, из которых один больше другого по массе, а значит, согласно выведенному Эйнштейном соотношению и поэнергичнее другого. Пара «нейтрон—протон» — это дублет. Триплет — близнецовую тройню — образуют три пи-мезона: положительный, отрицательный и нейтральный. Есть и большие семьи, декуплеты, например, из десяти частиц. Нашлись и частицы, у которых вовсе не оказалось ни сестер, ни братьев, частицы-одиночки.

При всем том семейства выглядели слишком маленькими. В них были собраны до очевидности близкие родственники, словно и впрямь близнецы. Можно было догадаться, что к семействам этим надо относиться как к строительным блокам, правильное размещение блоков относительно друг друга дало бы общую картину мира элементарных частиц. Требовалось создать план здания. Это начали делать, развивая идеи друг друга, японец Онуки, пакистанец Салам и американец Гелл-Манн (надо отметить, что первый толчок этой творческой работе дал Онуки).

Они нашли новые родственные связи между частицами, внешне непохожими друг на друга. Мало того, если продолжить сравнение близнецовых семейств (физики зовут их зарядовыми мультиплетам) со строительными блоками, то из этих блоков удалось собрать квартиры. Причем если одного блока не доставало, если не хватало для квартиры каких-то частей, то по типу квартиры можно было судить, каков недостающий блок.

И теоретики позволили себе обратиться к экспериментаторам с предложением: обнаружить частицы с такими-то заранее теоретически предсказанными свойствами.

В 1961 году Салам и Уорд выдали физикам ни больше ни меньше как предсказание, что существует девять новых частиц! В том же году все эти девять частиц были открыты. И все же немедленных торжеств по этому поводу не последовало. Новые частицы ничем особенным не выделялись среди многих десятков, открытых ранее. Предвиденное двумя учеными событие было слишком вероятным, чтобы, свершившись, оно могло в чем-то убедить мировую науку.

Не нужно быть астрономом, чтобы прогнозировать на завтрашнее утро очередной восход солнца. Другое дело, если ты можешь сообщить, что завтра утром состоится солнечное затмение.

И вот Гелл-Манн предсказал частицу, до удивления не похожую на все остальные. При отрицательном заряде частица омега-минус-гиперон (имя дал сам же Гелл-Манн) должна быть в 3296 раз тяжелее, чем электрон, должна быть самой тяжелой из известных тогда физике частиц.

Фотографию со следом омега-минус-гиперона получили сначала на Брукхейвенском синхрофазотроне, потом на Женевском. Теперь о равнодушии физиков к предсказанию и его свершению не было и речи. Экспериментаторы чувствовали, что они переживают историческую минуту. Кто-то из них вспомнил при этом о великом моменте, когда яблоко падало к ногам Ньютона...

Небольшие эксперименты, которые мы ставим, и наши личные усилия... способствуют образованию великой реки, которая впадает в бесконечное море, хотя в названии этой реки уже нет и помину о маленьких ручейках.

Что было бы с Рейном, если бы маленькие ручьи лишили его своих вод?

Георг Кристоф ЛИХТЕНБЕРГ

Нельзя сказать, чтобы частицы были приведены в систему. Но огромный, может быть, решающий шаг к этому был сделан. Контур системы оказались намечены. Для того чтобы сделать следующий шаг, оставалось только... объяснить глубинные причины того, что частицы именно такие, какие они есть, почему они образуют

именно такие семейства, объединяющиеся именно в такую систему.

Когда-то физики, открыв протоны, нейтроны и электроны, объяснили химикам, почему периодическая система Менделеева именно такая, какая она есть. Теперь в тупике оказались сами физики. Им на помощь прийти было некому. Приходилось выпутываться самим.

Раз элементарных частиц слишком много, сам собой напрашивается вывод, что их нельзя признавать элементарными. Они должны состоять из каких-то фундаментальных деталей. Каких? Тут открывался простор воображению... и математике.

Гелл-Манн и вообразил — естественно, с помощью математики — три сверхэлементарные частицы. И назвал кварками — термином, по-видимому, фольклорным, получившим известность благодаря роману ирландского писателя Джойса «Поминки по Финнегану», где упоминаются как раз три кварка. Считают, что по смыслу это точно непере译имое слово лучше всего передать на русском языке как «бес». Впрочем, в немецком языке слово «кварк» имеет и более четкий, вполне переводимый смысл. Чепуха — вот что, оказывается, может означать это слово. Почему же тогда — может означать? Да потому, что «кварк» по-немецки — это еще и «творог», и «грязь». Вот и понимай, как хочешь...

«Задачей» кварков было навести порядок. Теоретически они с нею, повторяю, по-прежнему отличнейшим образом справляются. Впрочем, теории имеют свойство меняться, а теоретики — люди предусмотрительные. Знаете, почему гелл-манновский кварк должен был в первом варианте гипотезы весить примерно в семь—десять раз больше протона? Да только потому, что если бы он весил меньше, так уже, считали тогда ученые, был бы обнаружен на мощных современных ускорителях.

Естественно, экспериментаторы спросили у теоретиков: как быть, если на еще более мощных ускорителях кварков такого веса не обнаружится?..

— Тогда мы примем, — ответил один из них, — что кварк в пятнадцать раз тяжелее протона.

Это было сказано довольно давно. С тех пор кварковая гипотеза сильно изменилась. Кварки (или по крайней мере те из них, что составляют протон) стали в сотни раз легче. Но зато взаимодействие между ними обрело в представлении физиков свойства, которые не

позволяют кваркам освободиться, существовать отдельно.

Мысль Ньютона о взаимном притяжении я считаю нелепой и удивляюсь, как человек, подобный Ньютону, мог сделать столько трудных исследований и вычислений, не имеющих в основании ничего лучшего, чем эта мысль.

Христиан ГЮЙГЕНС

В старом анекдоте на просьбу рассказать о беспроволочном телеграфе отвечали так: представьте себе кошку, у которой хвост в Москве, а мордочка в Париже; когда ее дергают за хвост, она мяукает; это обычный телеграф, а беспроволочный то же самое, только без кошки.

Анекдот здесь к месту. Систематика частиц сложилась на кварковой основе и вряд ли изменится, даже если кварков вообще не найдут в свободном виде. Член-корреспондент АН СССР Д. В. Ширков, например, как-то заметил, что в кварках ничего особенно интересного нет. Обычайшие элементарные частицы! То-то их удалось так хорошо предсказать. Гораздо любопытнее было бы, если бы кварков не оказалось.

В 1980 году в одном из американских научно-исследовательских учреждений был поставлен эксперимент, в ходе которого кварки как будто были обнаружены. «Как будто» потому, что окончательного подтверждения тому еще нет, постановка опыта вызывает некоторые сомнения. (Из-за этого я и не говорил об эксперименте раньше). И все же за минувшее с публикации время категорических опровержений не появлялось. Значит, есть по крайней мере хорошие шансы, что кварки вправду открыты.

Нельзя сказать, чтобы данное сообщение было принято без интереса, чтобы его не обсуждали в научных изданиях и на симпозиумах. Но все это не идет ни в какое сравнение с тем напряженным вниманием, которое привлекали подобные эксперименты в шестидесятые годы. Причина, видимо, не только в том, что физиков успели разочаровать прежние неудачи с поисками кварков. И уж, конечно, не в том, что, по некоторым выкладкам теоретиков, свободных кварков нет: эксперимент, противоречащий теории, в такой ситуации должен выглядеть тем любопытнее.

Дело в следующем. Открытие, если оно вправду состоялось, запоздало. Тогда, пятнадцать—двадцать лет назад, его жаждали, чтобы подтвердить верность новых представлений о роли кварков. Теперь эти представления уже не нуждаются (или почти не нуждаются), по мнению огромного большинства теоретиков, в новых подтверждениях. Ложка дорога к обеду. Теперь это, как говорится, «лишнее доказательство» (хотя, конечно, никакое доказательство не может быть лишним).

Перед нами, если хотите, очередной парадокс, связанный с взаимоотношением между теорией и экспериментом, только парадокс психологического, а не физического характера.

И все же кварков пока оказалось недостаточно, чтобы навести «полный порядок» среди элементарных частиц, чтобы свести весь их многочисленный сонм к немногим действительно простейшим частицам.

Кварков уже не три, а пять. Много есть оснований предполагать, что должен быть и шестой. Притом каждый из кварков может находиться в нескольких состояниях. Поэтому иногда говорят и о восемнадцати кварках. Многовато, пожалуй, если вспомнить, что в первоначальном варианте гипотезы ученых особенно привлекало именно малое число (три вида) предполагаемых истинно элементарных частиц. Далеко не в первый раз в истории науки поиски простоты и ясности вывели ученых к сложности и многообразию.

Сильное взаимодействие между кварками осуществляется, как и остальные три взаимодействия в мире, благодаря обмену виртуальными частицами. В данном случае — виртуальными глюонами (от английского слова, означающего «клей»). Глюоны имеют восемь разновидностей. В 1979 году в Гамбурге был проведен эксперимент, результаты которого истолковываются как свидетельство реального существования глюонов. Опыт ставила группа физиков разных стран на ядерном ускорителе РЕТРА. Сразу надо сказать, что хотя глюоны еще нельзя с абсолютной достоверностью считать открытыми, среди физиков очень мало сомневающихся в том, что они есть. Все в реальных реакциях происходит «как по писаному» — писаному в современной теории сильного взаимодействия с ее кварками и глюонами.

Сильное взаимодействие между кварками обладает свойствами, совсем не похожими на свойства гравита-

ционного взаимодействия. То (как и взаимодействие электромагнитное) уменьшается, ослабевает с расстоянием. Причем пропорционально квадрату расстояния между тяготеющими телами, то есть довольно быстро. А вот взаимное сильное притяжение между кварками, похоже, стремительно возрастает, когда кваркам грозит опасность отдалиться друг от друга. И чем больше мы будем в эксперименте стараться оторвать кварк от его сожителей по элементарной частице, тем ярче он будет демонстрировать свою привязанность к ним. Автор не случайно так много говорит здесь о кварках и сильном взаимодействии между ними. Как вы увидите, сам механизм этого взаимодействия можно сейчас объяснить только определенными свойствами вакуума и рождающихся и исчезающих в нем виртуальных частиц.

И то же относится к взаимодействию слабому, которое зовут так потому, что оно примерно в десять триллионов раз менее мощное, чем сильное. В его ведении — только некоторые реакции между элементарными частицами. Совсем немудрено, что до XX века физика и не подозревала о существовании в мире этой силы.

Зато об электромагнитном взаимодействии человечество знает уже довольно давно, проявления же электромагнетизма в микро- и макром мире изобильны, с ними связано великое множество самых привычных для нас вещей. Атом не разваливается потому, что отрицательные электроны притягиваются к положительному ядру, молекулу сохраняет единой валентная электромагнитная связь между атомами. Тела не распадаются на молекулы потому, что их связывают опять-таки электрические силы.

В большей части молекул отрицательные и положительные заряды распределены неравномерно. Грубо говоря, часто можно наметить у молекулы два полюса. Соседние молекулы, естественно, поворачиваются друг к другу противоположно заряженными концами. Нейтральные электрически молекулы тоже можно представить себе в виде тел, имеющих два полюса (диполей), только эти полюса постоянно меняют свое положение.

Но и в таких нередко кажущихся беспорядочными движениях есть элемент порядка: мгновенные диполи чаще поворачиваются друг к другу разноименными полюсами, чем одноименными. Именно этим объясняется взаимное притяжение нейтральных молекул.

Даже обыкновенное склеивание (адгезия) двух поверхностей имеет в своей основе электромагнитное взаимодействие. Достаточно двум чуть ли не любым телам соприкоснуться, чтобы между ними началась перебежка электрических зарядов. Свободные электроны непоседы. Там, где их набирается больше, возникает отрицательный заряд. А поверхность, отдавшая электроны, заряжается положительно. Отрицательные заряды притягиваются к положительным, и поверхности, обменявшиеся зарядами, прилипают, приклеиваются друг к другу.

Напряжение «клеящего» электричества может быть огромным. Его определяют по силе, которую приходится затратить, чтобы оторвать две слипшиеся поверхности друг от друга. Напряженность такого электрического поля достигает десяти и даже ста миллионов вольт на линейный сантиметр. Но энергия поля здесь все равно очень мала, потому что сосредоточена в тонком слое.

Точно так же именно благодаря в конечном счете электромагнитному взаимодействию подпрыгивает брошенный оземь мячик, тормозит (да и вообще движется) автомобиль, происходят биохимические реакции в человеческом теле. Упругость и трение, как и многое другое, — только формы, которые принимает в нашем обычном мире глубинное электромагнитное взаимодействие.

Химические свойства атомов и молекул определяют их электронными оболочками... И вот слова биохимика Альберта Сент-Дьердьи: «...Живая клетка — это, в сущности, электрическая машина. Удивительная тонкость биологических реакций обусловлена и объяснима лишь с позиций квантовой механики».

А ведь каждый из нас — система живых клеток.

Так что будем помнить: квантовая механика имеет отношение не только к чудесам атомной техники, она помогает нам лучше постичь не только законы, действующие в микромире, но и силы, управляющие нами самими.

Гравитации подчиняется все, что есть на свете.

Слабое взаимодействие властно над лептонами (в это семейство входят электроны, мюоны, тау-лептоны и все разновидности нейтрино).

Электромагнитной силе подведомственны все электрически заряженные частицы.

В сильных взаимодействиях участвуют адроны, среди которых наиболее известны наши хорошо знакомые по атомному ядру протон и нейтрон плюс еще примерно триста уже известных физикам частиц; участвуют потому, что сложены они из кварков.

Итак, всего четыре силы, и лишь одна из них, самая слабая, гравитация, всеобща и вездесуща.

Всего четыре... Или, может быть, лучше сказать иначе: целых четыре?! Много это на самом деле или мало?

Разложить все бесчисленное почти разнообразие действующих в природе сил на четыре полочки, четко разбить их на четыре категории — не блестящее ли это достижение?

Но творцы этого достижения, физики, не слишком склонны им гордиться. Академик М. А. Марков, академик-секретарь отделения ядерной физики АН СССР, ученый, идеи которого немало обогатили мировую науку, говорит: «Наши современные знания о глубинных свойствах материи в определенном смысле недалеко ушли от знаний о мире древних греков. Те полагали, что все на свете состоит из четырех стихий — огня, воды, воздуха и земли. Мы же считаем, что все процессы во Вселенной определяются четырьмя типами взаимодействий... Это те же «четыре стихии» древних».

В одной из своих работ Марков даже, весьма условно, конечно, попробовал сопоставить древние и нынешние «стихии». Получилось, что сильному взаимодействию соответствует «земля», слабому — «воздух», электромагнитному — «вода», а гравитационному — «огонь».

Главное здесь для ученого, конечно, не сами по себе сравнения, а то, что «мы так же, как древние греки, не понимаем пока связей между четырьмя нашими стихиями».

Связи же эти, в чем убеждено сегодня огромное большинство физиков, есть, существуют, действуют, их надо «только» отыскать и понять.

До Фарадея, то есть каких-нибудь полтора-два столетия назад, физика резко отличала друг от друга явления электрические и магнитные. (Причем о том, чтобы связать с теми или другими такие вещи, как упругость либо адгезия, еще и речи не было.) А теперь физика свела и то и другое в единый электромагнетизм.

М. А. Марков настаивает: «Не должны ли так же объединиться в будущем и наши четыре типа взаимо-

действия? А то так и хочется спросить, если бы было у кого: господи, зачем тебе эти четыре формы?»

Между тем, как говорят, мир построен без архитектурных излишеств: ни один из типов взаимодействий нельзя описать до конца отдельно от других. Это лишнее подтверждение того, как прочно связано все в природе, в том числе и управляющие ею силы.

Совсем недавно стали нобелевскими лауреатами трое физиков — за первые шаги в создании непротиворечивой теории, объединяющей слабые и электромагнитные взаимодействия. Их посылки и выводы проверяются, уточняются, развиваются, а между тем идет работа над объединением уже трех взаимодействий сразу — электромагнитного, слабого и сильного. Только гравитация, та самая, которую Марков позволил себе уподобить древнему «огню», пока остается несколько в стороне при этих энергичнейших поисках. Но ее очередь еще придет. Да и приходит уже.

Чтобы у теоретиков появился плацдарм, на котором можно было бы объединить все или почти все силы мира, должна претерпеть изменения идея, приключениям которой посвящена книга. И она уже их претерпевает. В пустоте, переставшей быть просто пустотой, ученые открывают — или хотя бы предполагают — все новые и новые свойства, без которых каждая элементарная частица, любой предмет и Метагалактика в целом были бы другими.

Можно сказать так: а) свойства вакуума во многом определяют характер взаимодействия между частицами и телами; б) характер взаимодействия между частицами и телами во многом определяет свойства физического вакуума.

И то и другое верно. Потому что взаимодействие частиц с вакуумом и задает законы, управляющие мировыми силами.

Борцы за объединение этих сил стремятся разглядеть в них некую единую всеобщую силу, единое универсальное взаимодействие природы.

Советские физики Д. А. Киржниц и А. Д. Линде пишут: «Динамическую основу взаимодействий — сильного, слабого и электромагнитного... составляет единый фундаментальный закон... Этот закон, который можно отождествить с наиболее простым законом электромагнитного взаимодействия, в чистом виде проявлялся

бы в том случае, когда имелись бы только взаимодействия заряды». То есть не в нашем физическом вакууме, а в древней абсолютной пустоте (которая и в самом деле — тут правы и Аристотель, и Джордано Бруно, и Декарт — невозможна) все три взаимодействия были бы дальнедействующими и силы, связывающие частицы, уменьшались бы пропорционально квадрату расстояния между ними.

В нашем реальном мире абсолютной пустоты нет, негде «единому фундаментальному закону» проявляться в чистом виде! Поэтому о таком законе приходится судить по действию других законов, вытекающих из него.

Тут ученые начинают своего рода игру, хорошей моделью которой может послужить решение многоходовой шахматной задачи. На доске расставлены фигуры. Известно, какая сторона дает мат, и даже за сколько ходов. Мало того, мы знаем еще, что по правилам, которые приняты шахматными композиторами, решение задачи не может, в частности, начинаться с «сильного» хода, то есть с шаха черному королю либо взятием белыми фигуры или хотя бы пешки.

Доска и фигуры в физике — известные факты; уже установленные наукой закономерности соответствуют правилам шахматного кодекса, и даже принципам составления задач в шахматах есть подходящие аналогии: почти в любой области знаний ученые называют сильным допущение или предположение, которое слабо подтверждено, — называют, наверное, потому, что его навязывают природе, так сказать, силой. А это плохой и, как правило, негодный метод.

В хорошей шахматной задаче составитель непременно предусматривает ложные следы, заманивающие на неверный путь. Природа богата на такого рода выдумки, она и вправду, как говорил Эйнштейн, изощрена, но ее задачи так же не изменяются по мере их решения, как и шахматные. Другое дело, что они иногда начинают иначе для нас выглядеть. Значит, в сборник задач вкралась опечатка, виноват же в ней не составитель задачи, не природа, а только издатели, то есть ученые, неверно передавшие в своих формулировках условия.

При решении шахматной задачи помогает знание теории композиции плюс опыт решения таких задач, накопленный самим шахматистом и переданный ему его учителями.

Еще одна очень важная черта сходства нашей временной модели с тем, что она моделирует: в правильной задаче нет ни одной лишней, ненужной для решения фигуры, белой или черной; здесь, как в природе, все взаимосвязано. И заканчивается решение правильной задачи правильным матом.

Вот как характеризует его старый «Словарь шахматиста»: «Правильный мат, или матовая картина,— мат, который одновременно и чист (т. е. все поля около заматованного черного короля либо заняты своими фигурами, без удара на них белых фигур, или же атакованы белыми фигурами только один раз) и экономичен (т. е. в матовом положении участвуют все белые фигуры; исключение допускается для короля и пешек)».

Ну а в правильном решении некоей научной проблемы должны быть учтены абсолютно все «фигуры», так или иначе причастные к этой проблеме.

Правда, в науке меняются со временем, по мере познания мира, и сами «фигуры» — известные частицы, и их свойства — «ходы». Так ведь и в шахматах за долгую их историю правила не оставались неизменными. Было время, когда ферзь ходил, как король, в любую сторону лишь на одну клетку, и только к XIX веку окончательно утратило силу правило, по которому путешествие короля на противоположную сторону доски, через все промежуточные горизонтالي, вознаграждались появлением на доске новой пешки (чем не рождение вещества «из ничего»!).

Меняется и сам подход к шахматам. Вот какое впечатление, по словам гроссмейстера С. Г. Тартаковера, на старшее поколение шахматистов производила в двадцатые годы система игры, связанная с именами Алехина, Нимцовича, Рети: «Планы, никогда не приходившие нам в голову, начала, дающие всей партии болезненный отпечаток, ходы, пренебрегающие всяким свободным развитием фигур, наконец, методы, заключающиеся в бесконечно коварном накоплении скрытых давлений».

Как тут не привести поразительно схожее по сути высказывание физика Макса Планка: «Взамен ясных и светлых образов... является стремление к каким-то таинственным схемам, не подлежащим отчетливому представлению».

Так что возмущение, которое вызвала квантовая механика у некоторых представителей классической физи-

ки, имело, как видите, аналогии в мире совсем иной игры.

(Напомню, однако, сразу, что в шахматах, как и в физике, взгляды «новейшей школы» были подтверждены практикой — победами).

Дальше ученые, решающие физическую задачу природы, начинают смотреть возможные варианты, искать, какие ходы приведут к ее решению. Тут можно вспомнить старую формулировку: каждая правильно поставленная задача уже в самой себе содержит ответ. У задач, поставленных природой, ответы ведь есть всегда, важно «только» правильно расставить фигуры на доске. Конечно, они далеко не всегда здесь, в физике, известны...

Но вот покойный ныне член-корреспондент АН СССР Д. И. Блохинцев как-то сказал поразительную фразу: «С чисто профессиональной точки зрения как теоретик и философ я должен считать, что фактов всегда достаточно, и не хватает только фантазии».

Да где же — всегда?! Первое побуждение — расценить это смелое утверждение как браваду и оспорить его. А потом невольно вспоминаешь: почти четверть века существовало экспериментальное доказательство (факт) отсутствия эфира — опыт Майкельсона, прежде чем у Эйнштейна хватило фантазии обойтись в своей картине мира без этого самого эфира.

Так, может быть, и вправду можно считать, что у современных физиков, решающих проблему единства взаимодействий, фактов тоже достаточно, и дело только за фантазией, то есть за плодотворной мыслью.

...Пустоты нет, а есть материальная среда — физический вакуум. Значит, это она должна быть — или хотя бы может быть — обвинена в том, что меняет характер взаимодействий, делая слабое короткодействующим, а электромагнитное и гравитационное дальнедействующими. Это она совершенно по-разному относится к разным силам, и такое пристрастие мешает нам разобраться в сути проблемы.

Аналогию, пусть отдаленную, тут можно привести простую. Деревянный брусок в пруду плавает, металлический тонет. Чем не разное отношение материальной среды (воды) к разным веществам? Здесь поведение брусков зависит от того, больше или меньше их удельный вес, чем удельный вес воды.

Помните слова о том, что мир построен без архитектурных излишеств? Физики употребляют и другое сравнение из архитектурно-строительного набора. Доктор физико-математических наук Д. А. Киржниц любит говорить, что наш мир оказывается построенным, в общем, по типовому принципу, и если уж не из типовых деталей, то по близким друг к другу типовым проектам. Одни и те же явления играют принципиально важную и сходную роль на разных уровнях строения материи.

Вероятно, подвести под электромагнитное и слабое взаимодействия общую основу можно в том случае, если по отношению к первому из них вакуум будет диэлектриком, а по отношению ко второму, слабому, — проводником. Первое условие, как известно, природой выполняется. Противоположные заряды в вакууме сосуществуют неопределенно долго, не уничтожаясь взаимно: электродинамический вакуум не пропускает электрический ток, это непроводящая среда, диэлектрик. А какими свойствами вакуум может обладать, чтобы мешать слабым силам вырваться за характерные для них очень узкие пределы действия? Что в нем способно превращать изначальное единое универсальное взаимодействие в ту слабую его форму, которую от электромагнитной ипостаси отличает прежде всего действие лишь на очень короткое расстояние?

Д. А. Киржниц — руководитель, А. Д. Линде — сотрудник сектора теории сверхпроводимости Физического института имени П. Н. Лебедева АН СССР. Может быть, поэтому для них было естественно посмотреть на вакуум, сопоставляя возможные в нем явления с теми, что характерны для металлов и сплавов в состоянии сверхпроводимости.

Сверхпроводимость — свойство проводника при некоторых условиях пропускать ток вообще без сопротивления. Как тут, кажется, говорить о сверхпроводимости в вакууме, если он, как только что упоминалось, и не проводник вовсе? И даже если по отношению к токам, соответствующим слабому взаимодействию, все-таки возможна сверхпроводимость в вакууме, то как может способность проводить ток без сопротивления ограничить действие каких бы то ни было сил?

Вот что говорят по этому поводу физики.

Сверхпроводимостью природа наделяет вещества, обладающие стройной, по-особому упорядоченной структу-

рой. Электроны, которые в обычном проводнике, можно сказать, «не обращают друг на друга внимания», в сверхпроводнике оказываются взаимосвязаны, зависят друг от друга, движутся в виде пар, причем эти пары все время, как во многих старинных танцах, хотя бы в кадрили, обмениваются партнерами-электронами. Пары, иначе говоря, все время исчезают и снова возникают в новом составе.

Получается настоящий коллектив электронов. Маленькая энциклопедия «Физика микромира» констатирует: «Все электроны в системе связаны друг с другом, и один электрон надо «отрывать» не от отдельной пары, а от всей системы взаимодействующих пар электронов, что, очевидно, сделать гораздо труднее...»

В сверхпроводнике, пока он сохраняет это свое состояние, нет сил, способных вырвать электрон из «танцующего коллектива» — это и проявляется как отсутствие сопротивления электрическому току.

В коллективы взаимосвязанных частиц способны собираться отнюдь не одни только электронные пары. Все элементарные частицы, а также группы связанных частиц, способные проявлять такой коллективизм, именуют в квантовой физике бозонами, сами же подобные коллективы называют бозе-конденсатами. (Несколько дальше мы с вами более подробно разберем, что такое бозоны, сейчас же добавлю только, что имя свое они получили в честь индийского физика Ш. Бозе.)

Ток благодаря бозе-конденсату идет по сверхпроводнику без сопротивления, зато есть факторы, которым сверхпроводник умеет сопротивляться с поразительным эффектом. Если поместить его в магнитное поле, оно (то есть фотоны, это поле составляющие) оказывается не в состоянии проникнуть в глубь сверхпроводника: тот «обороняется», отталкивает это поле, не пускает его в себя. Почему? Поле само же воздвигает линию обороны против себя: оно наводит в сверхпроводнике индукционные токи, которые, как полагается, не затухают, поскольку не встречают здесь сопротивления. Индукционные токи выталкивают наводящее их поле (это явление именуют эффектом Мейсснера — в честь немецкого физика-первооткрывателя).

Величина силы, которая действует на проводник с током, помещенный в магнитное поле, определяется законом Ампера. Напряженность магнитного поля, созда-

ваемого электрическим током, определяется законом Био—Савара—Лапласа. Действие обоих этих законов в принципе расстоянием не ограничено.

Весь разговор о сверхпроводимости был нужен, чтобы отметить: благодаря эффекту Мейсснера законы Ампера и Био—Савара—Лапласа становятся, когда речь идет о сверхпроводнике, короткодействующими. Короткодействующими, как слабое взаимодействие! Вот и перекинут мост между сверхпроводимостью в металле и свойствами вакуума. Вот, похоже, ответ и на второй из вопросов, заданных в начале всего этого длинного рассуждения о сверхпроводниках.

Виртуальные частицы в вакууме (точнее, некоторые их виды) не находятся в состоянии хаотического беспорядка. При всей эфемерности своего существования во времени они образуют упорядоченную систему, то есть поле в вакууме имеет «организованную» структуру. Киржницу и Линде удалось показать, что этот порядок сродни тому, который характерен для поля в металле в состоянии сверхпроводимости.

Система уравнений, описывающая сверхпроводимость в металле, практически тождественна системе уравнений, характеризующей вакуум.

В сверхпроводнике не затухают реальные электрические токи, в вакууме им соответствуют не встречающие сопротивления и незатухающие движения виртуальных частиц, в том числе и не несущих электромагнитного заряда. Из них-то и наводится вокруг источников слабого взаимодействия экранировка, ограничивающая его радиус, делающая само взаимодействие короткодействующим.

В абсолютной пустоте ничего подобного не происходило бы. Там слабое взаимодействие было бы далекодействующим наравне с электромагнитным. Из этого следуют поразительные выводы. Известно, что при электромагнитном взаимодействии заряженных частиц между ними происходит обмен виртуальными фотонами — квантами электромагнитной энергии. Слабое взаимодействие заключается в обмене другими промежуточными частицами. Назвали их промежуточными бозонами; в отличие от реальных фотонов промежуточные бозоны долго не обнаруживались в эксперименте. Как предполагали, такие бозоны должны были обладать массой покоя, которой у фотонов нет. Причем масса эта должна быть

в восемьдесят—сто раз больше, чем у протона. (Разумеется, осуществляют взаимодействие бозоны виртуальные, а открыть предстояло соответствующие реальные частицы. В начале 1983 года в зарубежной печати появились сообщения о том, что такое открытие сделано!)

Не оказалось бы в абсолютной пустоте массы покоя и у промежуточных бозонов, иначе слабое взаимодействие и в пустоте не могло бы стать дальнодействующим. Получается, что своей массой такие частицы обязаны материальной среде по имени «ничто» — вакууму. Только в вакууме, в коллективе виртуальных частиц — в бозе-конденсате — обретают бозоны массу.

Все это в конечном счете демонстрирует роль вакуума в теории, объединяющей слабое и электромагнитное взаимодействие. За создание самой этой теории С. Вайнберг, А. Салам и П. Глэшоу получили не так давно Нобелевскую премию. Сейчас речь шла об одном из тех аспектов теории, в разработке которых видную роль сыграли советские ученые.

Теперь взглянем хотя бы издали, как привлекают особые свойства вакуума для того, чтобы сблизить с единым уже (согласно теории Вайнберга—Салама) электрослабым взаимодействием другое взаимодействие — сильное.

Какая сила связывает кварк и антикварк в нуклоне так, что их, возможно, в принципе нельзя оторвать друг от друга? Что это за сила, которая вопреки всему характерному для других взаимодействий с удалением кварков друг от друга возрастает, не позволяя разорвать эту систему? Как, наконец, может такая сила быть проявлением опять-таки единого универсального взаимодействия?

Многие ученые разрабатывают следующую возможность. Вакуум, по их предположениям, способен выталкивать из себя сильное поле, как выталкивает он поле слабое. При этом поле между кварком и антикварком сжимается в трубку, которую называют струной. Энергия струны по расчетам должна возрасти вместе с ее длиной, то есть при попытке раздвинуть кварк и антикварк струна будет работать как пружина, сопротивляющаяся растяжению.

Уже предложено несколько конкретных механизмов возникновения силы, вызывающей образование струны

между кварками. Один из таких механизмов снова включает в себя представление о бозе-конденсате, упорядоченной структуре поля в вакууме; на этот раз такой коллектив должен быть образован виртуальными глюонами (глюоны, повторяю на всякий случай,— промежуточные частицы при взаимодействии между кварками, как фотоны — между частицами с электромагнитными зарядами).

Есть и другой вариант объяснения, почему так прочна связь между кварками. Вспомним, что происходит с обыкновенным электроном в вакууме. Электрон перераспределяет виртуальные частицы, по-новому ориентирует электрон-позитронные пары. Виртуальные позитроны окружают его, экранируя заряд электрона.

Реальный кварк в вакууме тоже встречается с виртуальными парами «кварк—антикварк». Но если виртуальный антиэлектрон — позитрон — притягивается к реальному электрону, а виртуальный электрон отталкивается от последнего, то как кварки, так и антикварки могут по законам сильного взаимодействия только притягиваться друг к другу. И кварки реальные оказываются сжатыми, собранными в неразрывное единство прямым давлением своих виртуальных собратьев.

Можно описать эту картину и иначе: два реальных кварка оказываются словно заключенными в полости, резко отличающейся по свойствам от окружающего эту полость вакуума. Полость — мешок, ловушка... В вакууме внутри мешка обычные колебания пригашены, подавлены, тогда как вне его они происходят как всегда. Давление виртуальных частиц держит в ловушке их реальных собратьев.

Можно даже говорить здесь о поверхностном натяжении на границе между полостью, внутри которой вакуум изменен кварками, и вакуумным окружением мешка. Это, разумеется, аналогия. Слова «поверхностное натяжение» — физический образ, взятый из научной области, к вакууму отношения не имеющей. Уже возможность черпать не только термины, но и образы и понятия с соседних и даже далековатых территорий, из арсенала, которым пользуются ученые, работающие над разными этажами мироздания,— сама эта возможность говорит о единстве мира, о «любви природы» к типовым проектам и стандартным деталям.

Вышеизложенное пока еще гипотеза, одна из многих гипотез, по которым, как по ступенькам, поднимается физика к единой теории взаимодействий. Стоит заметить, что о гипотезах, пытающихся объединить электромагнитное, слабое и сильное взаимодействия, говорят как о теориях Великого объединения.

Уже такое объединение мировых сил, выходит, заслуживает имя «великого». А ведь к трем силам, чтобы получить действительно единую теорию поля, надо добавить еще и гравитацию. Продолжающееся усложнение пустоты привело к тому, что тяготение начинают рассматривать тоже как проявление некоторых свойств вакуума, ищут его первопричины именно в них.

Реальные частицы согласно некоторым предположениям получают самую массу свою благодаря особому виду тех обделенных судьбой частиц, которые снисходительно именуются возможными, виртуальными.

Гипотезу о существовании таких частиц, наделяющих другие частицы массой, и соответствующего им поля выдвинул шотландский ученый Хиггс, и носят они поэтому его имя. Реальные частицы Хиггса должны обладать огромной массой, поэтому очень далеко пока до получения их с помощью ускорителей.

Виртуальные же частицы любого рода в нынешних условиях присутствуют в вакууме повсюду. И в то время как взаимодействие между частицами с помощью виртуальных фотонов находит свое выражение в виде электрических зарядов, взаимодействие обычных частиц с виртуальными частицами Хиггса выражается как обладание массой.

Тяготение, согласно некоторым предположениям, может объясняться особенностями поведения виртуальных частиц, поляризацией их, напоминающей ту поляризацию электронно-позитронного вакуума, о которой у нас уже шла речь.

Разбирая (в статье, опубликованной в 1981 году) возможность такого подхода к объяснению гравитации, академик Я. Б. Зельдович проводит такое сравнение: «Первая половина ОТО (общей теории относительности.— Р. П.) состоит в рассмотрении движения частиц в кривом пространстве-времени. Кривизна влияет на движение частиц... По третьему закону Ньютона — по закону равенства действия и противодействия — естественно можно представить себе, что есть и обратное влияние

частиц и полей на пространство. Когда рельсы действуют на вагон, поворачивая его траекторию, то и вагон с определенной силой действует на рельсы. Вторая часть ОТО подобна рассмотрению поведения рельсов: кроме сил со стороны вагона, надо учесть упругость рельсов и их связь со шпалами, с насыпью. Можно сказать, что уравнения Эйнштейна описывают упругость пространства... может быть, эта упругость целиком определяется эффектами поляризации вакуума, т. е. подобна эффекту Казимира».

Слова «может быть» академик употребляет, конечно, не случайно: гипотезы остаются гипотезами, пока они не подтверждены.

Какие конкретные варианты тут окажутся справедливыми, предсказать трудно. Даже основы теории Вайнберга—Салама, наиболее признанной сегодня и объединяющей всего лишь два взаимодействия, могут быть подвергнуты сильной атаке. Во всяком случае эта теория непременно должна как-то еще видоизмениться.

За одно лишь можно, пожалуй, поручиться: любая единая теория поля должна быть теснейшим образом связана со свойствами физического вакуума, опираться в своих выводах на эти свойства и в то же время их объяснять.

Как бы велики ни были трудности, сопряженные с открытием новых истин при изучении природы, еще большие трудности стоят на пути их признания. Трудности эти, зависящие от разных причин, в сущности, скорее полезны, чем вредны для общего состояния науки... лучше, чтобы истина, раз понятая, была обречена на долгую борьбу, чем чтобы все, что порождается пылким воображением человека, легковерно воспринималось.

Жан Батист ЛАМАРК

МЕНЯЮЩИЙСЯ ВАКУУМ

Раз вакуум на самом деле не только не пустота, но даже и не хаос, не некая беспорядочная мешанина виртуальных частиц, а настоящая сложная и упорядоченная система, то встает вопрос: всегда ли он сохраняет эти свои свойства? Известно же, что порядок в этом мире, как в самой обычной квартире, куда легче нарушить, чем навести.

Наши обычные сверхпроводники — металлы и сплавы — теряют свое сверхупорядоченное состояние чрезвычайно легко. Стоит только поместить их в магнитное поле, достаточно сильное, чтобы прорвать наведенные им же линии обороны. Или еще проще: поднять температуру металла выше критической точки. Это уже совсем нетрудно, поэтому-то до сих пор мы не умеем получать и даже сохранять состояние сверхпроводимости при сколько-нибудь высоких температурах. Впрочем, слово «высоких» — здесь явное преувеличение, несмотря на оговорку «сколько-нибудь». В соединении ниобия и германия, одном из рекордсменов по части сверхпроводимости, она возникает лишь при 23 градусах Кельвина, то есть при 23 градусах выше абсолютного нуля. А ведь и это — рекорд. Даже чуть более высокой температуры не выдерживает бозе-конденсат из электронных пар. Электроны разлучаются, и уже не для того, чтобы образовывать новые пары, а чтобы остаться, так сказать, в вечном одиночестве. Вместо бозонов, любящих общество себе подобных, перед нами снова закоренелые индивидуалисты*.

Для такого «всеобщего развода», повторяю, нужно, самое большее, поднять температуру до 23 градусов Кельвина, до точки, от которой до нуля по Цельсию еще две с половиной сотни градусов.

Точно так же нагретый до определенной температуры (разумеется, гораздо большей) магнитный материал теряет магнитные свойства, потому что исчезает обеспечивавшая их упорядоченность его структуры.

Нагревание — вообще лютый враг порядка. Раньше или позже оно обращает изящную и четкую структуру кристалла сначала в менее упорядоченную систему слабее связанных молекул жидкости, а затем и в газ, самое имя которого совсем не случайно произошло от древнегреческого «хаос».

Бозе-конденсат вакуума гораздо устойчивее против нагревания, чем структура магнита или кристалла. Бозе-конденсат виртуальных частиц не разваливается даже при температуре в шесть тысяч градусов Цельсия, что царит на поверхности Солнца. Мало для этого и температуры солнечных недр, то есть миллионов градусов.

* Конечно, читатели понимают, что весь этот антропоморфизм применительно к микромиру, да и вообще к неодушевленной природе — здесь не более чем литературный прием.

Вакуум, согласно теории Вайнберга—Салама и работкам Киржница—Линде, теряет свои сверхпроводящие свойства, только когда температура повысится до 10^{15} — 10^{16} градусов. Величина, конечно, фантастическая. Ведь даже при вспышке сверхновой звезды температура достигает всего лишь 10^{11} градусов Кельвина — ста миллиардов градусов.

И все-таки есть надежда проверить наблюдениями этот чисто теоретический пока что вывод. Некоторые частицы, входящие в состав космических лучей, несут колоссальную энергию; при их столкновении с веществом эта энергия может, грубо говоря, выделиться в виде тепла. Температура вакуума в районе такого столкновения способна превысить даже названную критическую цифру, и вакуум, пусть на ничтожную долю секунды и в ничтожном объеме, принципиально изменит свои свойства.

Что должно произойти со слабым и электромагнитным взаимодействиями в «новом вакууме», потерявшем свои сверхпроводящие свойства по отношению к первому из них?

Поскольку нет больше незатухающих токов виртуальных частиц вокруг слабых зарядов, значит не наводится уже и экранировка, ограничивающая в пространстве слабое взаимодействие. Вырвавшись из-под строгой опеки, оно обратится в дальнодействующее, каким было бы, как мы уже знаем, в абсолютной пустоте. Между тем носителями дальнодействующей силы могут быть лишь частицы, подобно фотону лишенные массы покоя; соответственно и промежуточные бозоны, носители слабого взаимодействия, должны потерять свою массу покоя. Зато нейтрину в этой ситуации получает способность взаимодействовать с материей не слабее, чем электрон. Теперь уже нейтрино никак нельзя назвать «неуловимым» и «частицей-призраком».

Согласно же теориям Великого объединения некая разновидность бозе-конденсата в вакууме сохраняется и при температуре в 10^{16} градусов. Этот оставшийся бозе-конденсат обеспечивает различие между сильным взаимодействием и единым уже электрослабым.

Нужен скачок температуры до 10^{27} градусов, до миллиона секстильонов градусов, чтобы исчезла и эта последняя упорядоченная система.

В «сверхновом», абсолютно хаотичном вакууме потеряют свою массу покоя не только промежуточные бо-

зоны, но почти все остальные частицы. Начнется неистовая круговерть их взаимных превращений, исчезнут границы между классами частиц, имеющих в обычных условиях минимум общего, кварк сможет, например, свободно обратиться в электрон и наоборот... Словом, вместе с изменением структуры вакуума почти все изменится в нашем мире...

Положение о том, что вакуум может резко изменять свои свойства, сравнительно недавно было обосновано Д. А. Киржницем и А. Д. Линде. За цикл работ, посвященных теории фазовых переходов в вакууме, эти советские ученые награждены премией имени М. В. Ломоносова Академии наук СССР.

Глаголы в описании «сверхнового» вакуума стоят в будущем времени, между тем точнее было бы поставить их в форму времени прошедшего. Потому что физики и астрофизики относят такое состояние вакуума и соответствующее состояние всей материи в Метагалактике не к грядущему, а к далекому прошлому. К первым мгновениям жизни Метагалактики. Да, впрочем, можно ли здесь говорить о мгновениях? Ведь подсчитано, кажется, что «мгновение ока» занимает одну десятую долю секунды. А здесь речь идет о промежутках времени, которые меньше секунды в квадрильоны квинтильонов раз... Разделение сильного и электрослабого взаимодействий должно было согласно теориям, описывающим Большой взрыв и последующее расширение нашей Вселенной, произойти в момент, когда эта уже разбегающаяся Вселенная остыла до температуры 10^{27} градусов. Такая температура была достигнута уже через 10^{-35} секунды после начала Большого взрыва. В этот момент обрели массу покоя кварки и электроны, мюоны и многие другие частицы, до того (так недолго!) обходившиеся без нее.

Произошел переход Вселенной в новое фазовое состояние.

Теперь слово Киржницу и Линде: «Интересно отметить, что в некоторых вариантах теории почти вся энергия перед фазовым переходом была сосредоточена в вакууме... а на долю самого вещества приходилась ничтожная ее часть. После же перехода избыточная энергия вакуума трансформировалась в энергию вещества, которое появилось при самом фазовом переходе в виде пар «частица—античастица» и квантов излучения (энергия

облекла в плоть и кровь виртуальные «призраки». — Р. П.). Поэтому наблюдатель обнаружил бы в момент фазового перехода рождение практически всей энергии вещества, по существу, «из ничего». Разумеется, никакого творения энергии при этом на самом деле не происходит, возникает лишь перекачка энергии из вакуума в вещество. Тем не менее сам этот факт достаточно необычен, будучи следствием существования бозе-конденсата, способного запасать и отдавать энергию».

Второй фазовый переход, при котором становятся различными уже и слабое и электромагнитное взаимодействия, не слишком сильно удален во времени от первого перехода. Вселенная успевает охладиться до десяти квадрильонов (10^{16}) градусов уже к моменту, отстоящему от начала Большого взрыва всего на 10^{-10} секунды.

Теперь среди всех существовавших (как и существующих поныне) частиц лишь один фотон и, возможно, нейтрино остаются лишенными массы покоя. Все остальные частицы ее обрели.

Вот температура станет еще в десять тысяч раз меньше, спадет до 10^{12} градусов Кельвина, и свободные кварки соединятся в нуклоны и мезоны (а удерживать их в таких союзах будет, как мы уже знаем, обретенная вакуумом упорядоченность), возникает сама возможность образования атомных ядер, которые ведь строятся из нуклонов...

Каждое «падение ртути» в поставленном миру градуснике приближает нас к сегодняшней норме, к обычной для нас картине Вселенной, картине, яркие краски которой наложены на «загрунтованный холст» вакуума.

Вот такими рисуются события, происходившие в первые доли мгновения после рождения нашей Метагалактики, — разумеется, в свете современных представлений о Большом взрыве, положившем начало становлению единственно известной нам части Вселенной.

Стоит сказать еще, что опять-таки именно новейшие теоретические исследования, касающиеся строения вакуума, дали основание для предположений, что Большой взрыв двадцать миллиардов лет назад мог происходить и не совсем в той форме, относительно которой до последнего времени было согласно большинство физиков. Принято считать, что в момент перед Большим взрывом все вещество Метагалактики находилось в особом

состоянии сингулярности, то есть, в самом грубом приближении, имело бесконечную плотность.

Некоторые черты, характеризующие поляризацию вакуума, позволяют как будто (этому посвящены, в частности, опубликованные в последние годы работы советских ученых Я. Б. Зельдовича, Л. П. Питаевского, В. Ц. Гуровича, А. А. Старобинского) обойтись без сингулярности, «сделать» плавным происшедший 20 миллиардов лет назад переход нашей Вселенной от сжатия к расширению, позволяют начинать отсчет существования Метагалактики не от нуля, а от «минус бесконечности». Такое решение отнюдь не зачеркивает грандиозную работу теоретиков, исследующих первые мгновения расширяющейся Вселенной, внося в нее, однако, определенные поправки.

Причины привлекательности для части физиков этой гипотезы понятны: общая теория относительности, да и вся сегодняшняя математическая физика, не в состоянии рассчитать очень сложные ситуации, которые могли бы возникнуть при чрезвычайно высокой плотности вещества; тут же от сингулярности с такой плотностью удастся отделаться.

Наконец, надо все-таки сказать, что существует точка зрения (работы М. Е. Герценштейна и М. Ю. Константинова), согласно которой при переходе Метагалактики от сжатия к расширению квантовые эффекты, связанные с вакуумом, проявляются в гораздо меньшей степени, чем в помянутых уже гипотетических вариантах развития Вселенной.

ЗАКОНЫ И ЗАПРЕТЫ

Быть может, покажется дерзким, что мы, ограниченные для наблюдений в пространстве маленькой Землей, пылинкой на Млечном пути, а во времени — короткой человеческой историей, решаемся применять законы, найденные для этой тесной области, ко всей неизмеримой беспредельности пространства и времени.

Герман Людвиг Фердинанд ГЕЛЬМГОЛЬЦ

Эти слова были сказаны в прошлом веке. Сегодня Вселенная — для нас — стала шире и глубже. По-прежнему мы дерзаем не только открывать ее, но и предпри-

сывать ей законы, открытые на Земле и в ближайших ее окрестностях. Самое поразительное: природа все время подтверждает наше право на такую вселенскую дерзость. На бесконечно далеких звездах, между галактиками, рядом с которыми и вся Солнечная система — пылинки, властвуют все те же законы Ньютона, Эйнштейна, Максвелла и даже Архимеда. Из этого мы делаем вывод: такую же всеобщую власть должны иметь те законы, которые мы еще не знаем, и те теоремы, которые еще не сформулированы.

А почему?

Один из ответов: потому что в многообразной Вселенной однообразен вакуум. Законы же миру заданы именно его свойствами. В том числе теми, которые физики определяют емким термином «симметрия вакуума».

Законы сохранения массы и энергии — только наиболее видные представители властного семейства принципов сохранения, командующих нашим миром в масштабах Метагалактики и атома; одни — всегда и везде, а другие — всего лишь на ограниченных территориях.

Каждый закон сохранения современная физика связывает с особым типом симметрии. Кстати, тут надо иметь в виду, что термин «симметрия» в физике далеко не во всех случаях совпадает по смыслу с тем же словом, когда мы прибегаем к нему в обыденной жизни.

Вот физическая симметрия, именуемая изотопической инвариантностью. Она присуща сильному взаимодействию, и только ему одному. Выполняется она, например, для ядерных частиц — нуклонов, то есть протона и нейтрона. Нейтрон ли взаимодействует с нейтроном, протон ли с протоном или протон с нейтроном — сильное взаимодействие при любом сочетании партнеров одинаково. Между тем один чуть легче, другой чуть тяжелее; один заряжен положительно, у другого электрический заряд равен нулю. Так отставим в сторону различия, будем считать протон и нейтрон двумя разными состояниями одной и той же частицы — нуклона, приравняем их, так сказать, друг к другу во всем, за исключением электромагнитного заряда, но, разумеется, оговорив это исключение.

Переход от протона к нейтрону на языке геометрии можно формально изобразить как поворот этой частицы в некоем изотопическом пространстве. Повернули протон, и он, заняв другое положение в этом простран-

стве, из частицы, заряженной положительно, превращается в нейтральную. Пожалуй, только этот поворот в достаточно условном пространстве и уцелел в изотопической инвариантности от древних геометрических основ симметрии.

Такая физико-геометрическая операция над нуклоном может послужить моделью, с помощью которой будет легче разобраться в том, что имеют в виду физики, говоря о симметрии.

Два абзаца назад было сказано, что протон и нейтрон приравнивали друг к другу на определенных условиях. Так вот, всякая физическая симметрия и означает равенство, более того — тождество. Чего? Частиц, физических полей, физических систем...

Самое, пожалуй, простое и очевидное правило: результаты опыта не меняются от того, что он будет перенесен в другое место при сохранении в остальном прежних условий.

Называется это симметрией вакуума относительно перемещения в пространстве.

А если тот же опыт провести на несколько дней позже (опять-таки с тем, чтобы прочие условия эксперимента не изменились), мы нисколько не удивимся, получив прежние результаты. Тут опять перед нами физическая симметрия, на этот раз относительно перемещения во времени. Между прочим, именно из такой простой и даже очевидной на первый взгляд симметрии вытекают законы сохранения массы и энергии, совсем не такие уж очевидные для наблюдателей.

Представьте себе далее, что некий опыт дает при повторении другой результат, несмотря на тщательное сохранение всех условий. Что из этого следует? Да то, что время само по себе изменяет характер эксперимента, меняет физические условия, и, значит, количество энергии могло бы и не сохраниться. Но такого ведь не происходит.

Существует симметрия и относительно поворота физической системы в пространстве, и относительно более сложных способов изменять обстоятельства проведения эксперимента.

Даже закон всемирного тяготения Ньютона предлагается, между прочим, рассматривать как вытекающий из определенной физической симметрии. До открытия этого закона, пишет Поль Дирак, мир для людей был

чем-то двухмерным. При направлении движений вверх и вниз вмешивались силы тяготения, третье измерение принципиально отличалось от двух других. Нельзя было приравнять друг другу движение в длину или ширину, с одной стороны, и движение вверх и вниз в поле тяготения — с другой.

Формула Ньютона дает ту поправку на земное (или иное) тяготение, с учетом которой эти движения можно отождествить.

Разумеется, все усложняющиеся в наших представлениях принципы сохранения выражаются на бумаге изящными формулами, в которых учитываются условия соблюдения симметрии и связанные с ними законы.

Часто говорят, что цель физики состоит в объяснении законов природы или по крайней мере неодушевленной природы. Но что значит объяснить? Это значит установить несколько простых принципов, которые позволяют описать свойства того, что должно быть объяснено.

Евгений ВИГНЕР

Каких только, кажется, математических преобразований не проделывают ученые для того, чтобы найти сходное в различном, приравнять то, что выглядит неравным... Повороты протона в изотопическом пространстве на таком фоне выглядят совсем простой операцией.

А как же все это передать только словами? И тут мне на помощь пришел старый товарищ, физик, уже лет пятнадцать как доктор наук.

— Все очень просто, — сказал он. — Каждое физическое явление происходит на определенном фоне, в определенной системе координат, как любая пьеса — на такой-то сцене, среди таких-то декораций. Уравнения, описывающие это явление, заодно описывают и фон его, и координаты. Одну и ту же пьесу можно играть с разными декорациями. Возводить на сцене здания, ставить деревья в кадках или просто, как во времена Шекспира, втыкать в щели сцены палочки с плакатами: «Башня», «Лес», «Море». Шекспировский «Гамлет» был великой трагедией на сцене театра «Глобус» в XVII веке и остается ею на киноэкране XX века; он проявил, говоря языком физики, инвариантность, то есть неизменность, продемонстрировал власть некоего закона сохранения — закона сохранения искусства, сохранения силы его воздействия, при перемещениях в пространстве и времени.

Однако сцену и декорации ведь можно изменить и так, что это станет мешать. Плакатик с надписью «Море» окажется там, где надлежит быть кладбищу. Нетрудно (хотя и противно) представить, что можно загроздить сцену пирамидами, лестницами, ширмами, не справляющимися с ролями хотя бы символов реальности, мешающими актерам играть, а зрителям воспринимать то относительно немногое, что они все-таки увидят.

Закон сохранения искусства перестанет при таких условиях выполняться. Так вот, по сути-то, уравнения физической симметрии как раз и предусматривают, в каких случаях изменение физической сцены безразлично для спектакля — физического процесса, а в каких — нет. И, повторяю, за всем этим стоит то, что именуется симметрией свойств вакуума.

Симметрия — в широком или узком смысле, в зависимости от того, как вы определите значение этого понятия, — является той идеей, посредством которой человек на протяжении веков пытался постичь и создать порядок, красоту и совершенство.

Герман ВЕЙЛЬ

Законы сохранения — а их сегодня известно более пятнадцати — законы суровые и властные. Каждое открытие нового закона не только означает расширение сферы наших знаний, но и появление новых запретов на возможность тех или иных событий в мире, стало быть, и на достижение некоторых целей, прежде казавшихся возможными. Вот уже оставлены в прошлом мечта о вечном двигателе, мечта об уэллсовском кэворите... Наверное, размышления над тем, как с ростом наших знаний мы все больше постигаем ограниченность наших возможностей, заставили Аркадия и Бориса Стругацких мимоходом представить нам на страницах своей повести-сказки «Понедельник начинается в субботу» некоего Саваофа Бааловича Одина, главу отдела Технического Обслуживания Научно-исследовательского института Чародейства и Волшебства, а также консультанта китежградского завода маготехники. Когда-то этот носитель божественных имени, отчества и фамилии был ведущим магом земного шара. «И вот где-то в середине XVI века он воистину стал всемогущим. Проведя численное решение интегрально-дифференциального уравнения Высшего Совершенства, выведенного каким-то титаном еще до

ледникового периода, он обрел возможность творить любое чудо... Он мог все. И он ничего не мог. Потому что граничным условием уравнения Совершенства оказалось требование, чтобы чудо не причиняло никому вреда. Никакому разумному существу. Ни на Земле, ни в иной части Вселенной. А такого чуда никто, даже сам Саваоф Баалович, представить себе не мог».

НИИЧАВО у Стругацких, кроме всего прочего, неплохая модель любого неплохого НИИ. А в положении Саваофа Бааловича в какой-то мере то и дело оказывается сама наука. Наиболее фундаментальные законы природы задают нам, как то самое фантастическое уравнение Высшего Совершенства, некие граничные условия, кои нельзя преступить. Граничные условия, именуемые законами сохранения.

МАТЕМАТИКА ДЛЯ ФИЗИКИ

...Геометрия была изобретена не для чистого умствования, но для житейской пользы, и основание для ее возникновения должно быть сохранено.

Исаак НЬЮТОН

У американского физика лауреата Нобелевской премии Евгения Вигнера есть работа под названием «Непостижимая эффективность математики в естественных науках». Достаточно шутовское определение математики, данное здесь Вигнером, звучит так: «Наука о хитроумных операциях, производимых по специально разработанным правилам над специально придуманными понятиями».

Восхищаясь блестящими примерами успехов этой странной науки, Вигнер пишет: «Математический язык удивительно хорошо приспособлен для формулировки физических законов. Это чудесный дар, которого мы не понимаем и которого не заслуживаем. Нам остается лишь благодарить за него судьбу и надеяться, что и в своих будущих исследованиях мы сможем по-прежнему пользоваться им. Мы думаем, что сфера его применимости (хорошо это или плохо) будет непрерывно возрастать, принося нам не только радость, но и новые головоломные проблемы».

Думаю, вы тоже почувствовали в этих проникнутых глубоким чувством строках не только радость, но и не-

которую тревогу, может быть, даже грусть. И не из-за одних лишь новых головоломных проблем, которых нобелевский лауреат вряд ли должен был особенно бояться. Тревожило ученого то обстоятельство, что для него эффективность математики в естественных науках оставалась непостижимой, что он не мог объяснить, на чем держится такая эффективность. При чтении этой его работы, право же, порой кажется, что ученый временами побаивается, как бы в будущем столь великолепное свойство математики не перестало проявляться с прежней чудодейственной силой.

Но, судя по всему, такой угрозы для физики нет.

Двадцать три столетия прошло с тех пор, как Евклид написал свои «Начала», где построил ту самую систему по имени Геометрия, которую мы до сих пор изучаем в школе. (Кстати, Ньютон использовал «Начала» Евклида как образец при создании своей главной работы.)

Двадцать пять столетий минуло со времени, когда Пифагор заявил, что числа правят миром.

И многие тысячелетия уже, как человек научился считать и чертить геометрические фигуры, память об этом хранят сбереженные землею для археологов камни и глиняные черепки со сложными орнаментами. Вот что писал о таких орнаментах один из крупнейших советских археологов, академик А. П. Окладников: «Их создатель сумел преодолеть инерцию старой косности ума и хаоса ассоциаций. Он навел порядок в бурном хаосе впечатлений. Отобрал то, что для него было существенно, важно, и выразил это в абстрактной форме симметрично расположенных геометрических линий. Ясное взамен неясного и расплывчатого, порядок взамен беспорядка, логика на смену туманным ощущениям и проблескам — таков объективный смысл этого древнейшего образца орнамента».

С самого начала математика, пусть она и не стала еще, строго говоря, наукой, была тесно связана с реальностью, более того, с повседневной жизнью людей, с насущными их нуждами. Фридрих Энгельс отмечал: «Понятия числа и фигуры взяты не откуда-нибудь, а только из действительного мира. Десять пальцев, на которых люди учились считать, т. е. производить первую арифметическую операцию, представляют собой все, что угодно, только не продукт свободного творчества разума... Как и все другие науки, математика возникла из *практических потребностей* людей...»

Как бы абстрактны ни были построения Евклида, как бы оторваны они ни были на первый взгляд (даже, возможно, на взгляд самого Евклида) от требований жизни, порождает эти построения реальность, они были связаны с нею не меньше, чем первые десять чисел с пальцами... И эта связь сохраняется в наше время.

В XX веке положение о неслучайной и глубочайшей связи математики с опытными науками утверждал со всей категоричностью Джон фон Нейман, основоположник теории игр, создатель теории автоматов, сделавший огромный вклад в квантовую механику и в создание первых ЭВМ. Фон Нейман писал: «Некоторые из наиболее ярких идей современной математики (я убежден, что это лучшие ее идеи) отчетливо прослеживаются до своих истоков в естественных науках». Дальше ученый отмечал, что математические идеи, коль скоро они возникли, «обретают независимое, самостоятельное существование. Их лучше сравнивать с художественными произведениями, подчиняющимися чисто эстетическим оценкам, чем с чем-либо другим...»

А затем фон Нейман предупреждает о весьма серьезной опасности, которой угрожает математике отрыв от опытной науки. Опасности вырождения. Спасение тут одно — вернуться к опыту как источнику идей.

Математика демонстрирует умение черпать такие новые идеи, в частности, из работ, связанных с квантовой механикой, поддерживая свою свежесть и жизненность.

Вы не сможете не заметить, что эта глава особенно богата цитатами. Что делать: когда речь идет уже не о физике даже, а о самой математике, особенно трудно обходиться только словами (как мы с вами договорились делать с самого начала), и невольно тянет почаще приводить хотя бы слова, подкрепленные высокоавторитетным именем их автора. Разумеется, с давних времен известно, что сама по себе опора только на авторитет, даже самый сильный, ничего не стоит. Я опираюсь сейчас не на слова, а на дела, которые стоят за этими словами. Математику славят люди, для которых она была одновременно наукой и ремеслом, игрой и искусством — сразу самым абстрактным и самым реалистическим искусством в мире.

Все, что написано до сих пор в этой главе, — только введение к новому повороту в рассказе о физическом вакууме.

Роль математики в физике далеко не сводится к снабжению последней уравнениями, обеспечению ее чертежами и расчетами. В своем определении математики (повторяю, шутливым) Вигнер говорит не только о хитроумных операциях и правилах, но и о специально придуманных понятиях. В каждой шутке, как известно, есть доля истины. И приход в физику понятий, взятых из математики, «придуманных» ею, играет чрезвычайно важную роль.

Я попытаюсь, по-прежнему пользуясь только словами, показать на примерах, как развиваются математические понятия в физике. Но не вообще в физике, а применительно к проблеме физического вакуума, к некоторым способам математического его описания.

Чем с математической точки зрения является элементарная частица, какой из имеющихся в распоряжении геометрии фигур можно ее уподобить? (Сделаем оговорку: элементарными частицами, в согласии с современной физикой, будем называть здесь лишь те частицы, у которых ученые не могут найти внутреннюю структуру; не подходят под это определение, как вы уже знаете, ни весьма заслуженные протон и нейтрон, ни пи-мезоны и прочие частицы, имеющие, по современным воззрениям, внутреннее строение, составленные из кварков.)

Итак, на что похожа элементарная частица? Конечно же, на старую добрую точку, самую простую из фигур (кстати, уже ведь говорилось в этой книге, насколько мир квантовой физики проще, чем наш макромир). У геометрической точки, по Евклиду, нет, правда, ни длины, ни ширины, ни вышины (глубины). А у элементарной частицы все это должно быть. Но для нас-то точка — только обозначение частицы, слово, взятое из языка, на котором природа разговаривает с людьми.

Чтобы название больше походило на то, к чему оно прилагается, чтобы обозначение стало ближе к обозначаемому, точнее ему соответствовало, назовем элементарную частицу не просто точкой, а точкой физической, материальной. В науке такие точки появились в XVII веке и почти сразу получили от ученых интересный набор свойств. Раз точка материальна, у нее должна быть масса. Раз точка движется, у нее должна быть скорость. Ну и, разумеется, раньше, чем масса и скорость, у материальной точки появились координаты, обозначающие ее положение в пространстве.

Однако в XVII веке, как известно, об элементарных частицах не знали и знать не могли. Даже положение о том, что вещество состоит из атомов, что есть предел его делимости, оставалось под вопросом, сохраняло ранг гипотезы, хоть к тому времени уже перевалило по возрасту за второй десяток столетий.

Что же тогда обозначали материальные точки в физике того времени? Да самые разные вещи. В некоторых случаях, скажем, материальными точками могли служить и Луна, и Земля, и даже само Солнце. В Ньютонову формулу закона всемирного тяготения входят, не считая коэффициента (гравитационной постоянной), только массы тяготеющих друг к другу тел да расстояние между их центрами тяжести. Так что эти центры вполне можно при решении конкретного уравнения принимать за материальные точки, наделенные весьма солидной массой. Я не случайно остановился на этом примере: пусть он подготовит вас к аналогичным в чем-то, хотя и совершенно не сравнимым по масштабу операциям, которые проделывают с физической точкой в наше время.

С конца XIX века физики начали открывать элементарные частицы, поначалу не очень разбираясь, какие из них действительно элементарные, а какие — составные.

И уж частицы-то оказалось очень удобно рассматривать именно как материальные точки. Математики описывают их как существующие в десятимерном и даже тринадцатимерном пространстве: количество измерений задается тем количеством чисел, которые нужны для передачи всех характеристик элементарной частицы: три числа определяют ее положение в пространстве, три — скорость и т. д. Тех, кто захочет узнать об этом подробнее, отошлю к прекрасной статье «Неисчерпаемая точка» математика С. Смирнова в журнале «Знание — сила» (№ 8 за 1982 год). Разумеется, эти многомерные пространства — тоже только фразы на языке математики, только изображения нашего обычного трехмерного пространства или четырехмерного пространства-времени.

(Чтобы вы не придали самой многомерности слишком большого значения, стоит отметить, что многомерными пространствами удобно пользоваться, например, при описании движений молекул газа и во многих других случаях.)

Пойдем дальше. В геометрии совокупности точек образуют фигуры. В природе элементарные частицы (по крайней мере некоторые из них) собираются в атомы.

Простейший из известных в природе атомов — атом водорода. В ядре его — одном-единственном протоне — три физические точки, три кварка, вокруг ядра движется физическая точка-электрон. Уже давно физики обнаружили, что атом, строго говоря, не состоит из ядра и электрона, он только возникает из них. Атом существует лишь благодаря вездесущим виртуальным частицам, в данном случае виртуальным фотонам, которыми обмениваются протон и электрон. В любом атоме те виртуальные шубы отдельных частиц, о которых мы уже говорили, объединяются в общее одеяние, в некую сверхшубу. А значит, атом водорода на самом деле состоит из трех физических точек-кварков, точки-электрона и еще великого множества виртуальных фотонов. Как назвать на геометрическом языке эти последние?

Анализ показал ученым, что слишком мало известно о виртуальных частицах, чтобы именовать их — каждую по отдельности — физическими точками. В принципе нельзя определить, например, место, где любая из них находится.

Как вы помните, только что было выяснено: мы чересчур мало знаем об элементарной частице, поскольку не обнаруживаем у нее внутренней структуры, — чересчур мало, чтобы дать такой реальной частице право претендовать на имя любой геометрической фигуры, кроме простейшей из них — точки. Но ведь нельзя, оказывается, найти и структуру виртуальной сверхшубы атома. Словом, при разборе ситуации получается: слишком немного нам известно об облаке виртуальных частиц в атоме, чтобы вообразить его любой другой фигурой, кроме опять-таки точки. Значит, остается лишь все облако в целом, заполняющее часть вакуума внутри атома, обозначить как точку. Только это, очевидно, должна быть точка не совсем обычная. Какая же? Туго пришлось бы в этой ситуации физикам, если бы не та самая непостижимая эффективность математики, которой с тревогой восхищался Вигнер.

Дело в том, что в арсенале математиков подходящие необычные точки уже имелись. Они появились в нем, когда в начале XX века теория множеств вошла в топологию, науку о пространственных формах, и занялась ее

упорядочением. Новая научная дисциплина — теоретико-множественная топология — сумела сделать гораздо строже и точнее саму геометрию. И при этом вдруг выяснилось, что в созданную ею систему геометрических фигур непременно должны входить особые точки, названные незамкнутыми. Вот как поясняет само это понятие С. Смирнов: «Вспомним повесть Гоголя «Нос»: в ней действует как реальный субъект такая часть человеческой фигуры, которая не способна к самостоятельному существованию. Вот такие части фигур, не являющиеся фигурами, есть и в геометрии; даже одна точка может оказаться таким «носом без владельца». На языке геометров эти «обломки фигур» называются незамкнутыми множествами». Незамкнутыми бывают и точки.

И тут математики показали, что они наследники не только Евклида, но и тех древних открывателей арифметики, кто еще не научился отделять число пальцев от самих пальцев. Обнаружив такую невозможную, кажется, математическую абстракцию, они тут же принялись искать, какому объекту в реальном мире соответствовало это новое слово их языка. И кстати, для тех математиков, которые возражали против введения нового понятия, серьезным аргументом служило отсутствие подходящего объекта для его приложения. В конце концов объекты нашлись. Точнее, были вычислены, обнаружены физиками-теоретиками. Это были как раз облака виртуальных частиц.

Как тут не вспомнить слова великого русского ученого и инженера академика Алексея Николаевича Крылова, словно прямо описавшего историю, о которой только что было рассказано (на самом деле — тысячи подобных историй).

«...Геометра,— писал Крылов,— который создает новые математические выводы, можно уподобить некоему воображаемому универсальному инструментальщику, который готовит на склад инструмент на всякую потребу: он делает все, начиная от кувалды и кончая тончайшим микроскопом и тончайшим хронометром. Геометр создает методы решения вопросов, не только возникающих вследствие современных надобностей, но и для будущих, которые возникнут, может быть, завтра, может быть, через тысячу лет».

Итак, эти бесхозные незамкнутые точки оказались, так сказать, точными портретами тех самых облаков вирту-

альных частиц, которые привлекают наше с вами внимание на протяжении уже очень многих страниц.

Виртуальные частицы, возникающие и тут же исчезающие внутри облака, вызывают в памяти школьное представление о самом обыкновенном газе. Эту аналогию можно развить. Смирнов пишет: «...Газ отличается от одиночной частицы прежде всего тем, что он может пребывать во многих разных состояниях: он может быть более или менее нагрет, может занимать больший или меньший объем, наконец при некоторых условиях он может конденсироваться в жидкость и даже замерзнуть — затвердеть».

Так вот, аналогичные видоизменения могут происходить и с нашими облаками — они же шубы — из виртуальных частиц. Отсюда следует возможность большого разнообразия свойств незамкнутых физических точек. Разнообразие свойств обычных, реальных элементарных частиц — они же замкнутые физические точки — по-видимому, не задано их собственными, так сказать, внутренними свойствами, оно появляется в результате взаимодействия с точками незамкнутыми.

Собственно, тут мы с вами с использованием новых слов и даже до некоторой степени нового языка повторяем то, что уже говорили в книге, когда связывали свойства обычных частиц с тем, как они взаимодействуют с частицами виртуальными.

Вот как, например, на этом новом языке звучит объяснение, откуда у частиц появляется масса.

Кроме облаков виртуальных фотонов в атомах, мы знаем и «вселенские облака» виртуальных частиц всех возможных видов, облака, заполняющие не просто части объема атомов, но весь объем Метагалактики. Между тем и в таком супергигантском облаке виртуальных электронов, скажем, физикам не удастся обнаружить достаточно «яркие индивидуальности», выявить внутреннюю структуру данного облака. И значит, приходится изображать облако виртуальных частиц, совершенно независимо от размеров области, которую оно занимает, опять-таки точкой, только незамкнутой. И по сортам виртуальных частиц можно изобразить вакуум в виде соответствующего числу этих сортов количества незамкнутых точек. Наш многоокеанный дираковский вакуум переживает в результате поистине уничижающее превращение:

каждый из океанов становится в математическом описании всего лишь незамкнутой точкой...

Один из этих всемирных океанов (он же незамкнутая точка) образован бозонами Хиггса.

Теперь снова слово Смирнову: «Предположим, что это «вселенское облако Хиггса» может пребывать в двух разных состояниях — «газообразном» и «жидком», которые имеют разную энергию, причем переход из газообразного состояния в жидкое происходит с выделением энергии (так и обычный водяной пар конденсируется в воду). Наконец, предположим, что облако Хиггса в этих двух состояниях по-разному взаимодействует с элементарными частицами: когда оно — газ, взаимодействие почти незаметно, а когда оно — жидкость, частицы приобретают массу. Все электроны в Метагалактике одинаковы по массе, то же относится к протонам и т. д.; это означает, что каждая частица любого сорта взаимодействует с облаком Хиггса как с единым целым — с «незамкнутой точкой Хиггса», которая в нашу эпоху пребывает в «жидком» состоянии. Это — сейчас, а раньше было иначе: облако Хиггса было «газообразным», и все элементарные частицы имели нулевую массу. Потом «газ» превратился в «жидкость» с выделением огромной энергии — это был один из эпизодов Большого Взрыва...»

Как вы, очевидно, помните, в книге уже говорилось и об этой ситуации, только другими словами. Можно, следуя примеру Нильса Бора, назвать такие описания дополнительными друг для друга.

ПЛОДОНОСЯЩАЯ ПУСТОТА

А не породил ли вакуум когда-то Вселенную в целом, как сегодня он рождает частицы? И как он мог бы сделать это, не нарушая законов сохранения? По выдвинутому в начале шестидесятых годов предположению Г. И. Наана, академика АН Эстонской ССР, мировая пустота могла породить одновременно пару миров, пару Метагалактик, по аналогии хотя бы с рождением вакуумом электронно-позитронной пары виртуальных частиц.

Эта гипотеза, сверх всего прочего, способна как будто объяснить такой трудный и нерешенный до сих пор, несмотря на множество интересных гипотез, вопрос: почему знакомый нам мир состоит, насколько можно

судить, практически из одного лишь вещества? Ведь скоплений антивещества, несмотря на поиски астрофизиков, не обнаружено ни поблизости от Солнечной системы, ни на дальних «окраинах» Метагалактики. Между тем известные нам физические законы как будто указывают, что при Большом взрыве вещество и антивещество должны были появляться в равных количествах.

Г. И. Наан пишет: «Грубую модель вакуума можно представить себе как бесконечно большой запас энергии одного знака, компенсируемый таким же запасом энергии другого знака».

Два возникших одновременно мира должны были различаться по знакам зарядов (как электрон и позитрон в паре виртуальных частиц). Один из них оказался составленным из вещества, другой — из антивещества. Мы с вами живем в первом (по нашим меркам), но «где-то там», может быть, лежит такой же большой и сложный антимир, без которого не было бы нашего мира «просто». И можно, повторяя и перефразируя Андрея Вознесенского, сказать примерно так:

Без глупых не было бы умных,
Оазисов — без Каракумов.
И нас бы не было — без Них,
Стал антимир — чтоб мир возник.
В начале той ночной поры
Вы разошлись, антимиреи.

Словом, материальная среда, которая сегодня задает законы «обычному» веществу, начала свои отношения с ним с того, что это самое вещество породило. Повторю на всякий случай, что такое предположение — только предположение, что это одна из гипотез. И все-таки, как не воздать хвалу Большой физике, способной выдвигать гипотезы такого рода...

Гипотеза Наана, по его словам, отвечает на кардинальнейший вопрос: почему существует Вселенная? Отвечает так: Вселенная существует потому, что «ничто» неустойчиво, поляризуется на «нечто» и «антинечто».

Эти миры такие же, как наш... Мы не знаем, что там: может быть, там есть и ответ на все наши неразрешимые вопросы или средство избавить нас от страданий, однако нам никогда до них не добраться, никакое искусство первейших умельцев не сможет снарядить и отправить корабль к ближайшему из наших спутников, да и жизни самых долговечных из нас не хватит на такое путешествие...

Мы можем стоять здесь, внизу, собравшись хоть целой толпой, и кричать, пока не разорвется сердце, а до них все же не дойдет ни звука. Мы можем взобраться на самую высокую гору — и все-таки не станем к ним ближе. Все, что нам доступно, — это стоять здесь в саду, сняв шляпу; звездное сияние льется на наши головы, и там, где у меня небольшая лысина, ты, я думаю, можешь заметить светлое пятно в темноте... Это, кажется, все, что у нас есть или будет общего с Арктуром или Альдебараном.

Роберт Льюис СТИВЕНСОН

Надо особо оговорить, что, по Наану, мир и антимир возникают одновременно и связано, а в дальнейшем существуют в разных, так сказать, пространственно-временных каркасах, и их взаимодействие невозможно.

Нечто и антинечто обязаны существованием друг другу и вакууму, вместе они образуют Вселенную — такая суммарно-симметричная Вселенная в среднем состоит из одной лишь пустоты.

По крайней мере дважды в XX веке крупнейшие ученые пытались найти в мировой материальной среде постоянный, не зависящий ни от каких влияний, источник самопроизвольно рождающегося обычного вещества.

В 1912 году знаменитый немецкий физик Вальтер Нернст предложил считать, что в каждой сотне литров мировой материальной среды (Нернст по-прежнему называет ее эфиром) за каждый миллиард лет (или за несколько большее время) возникает один — всего один! — атом урана. В дальнейшем, распадаясь, эти атомы урана обеспечивают пополнение Вселенной и другими элементами таблицы Менделеева. Их энергия, по эйнштейновской формуле $E=mc^2$, пополняет запасы мировой энергии и спасает Вселенную от тепловой смерти, которую, как считалось в ту пору, предрекают ей законы термодинамики.

А конечный результат разложения атомов, по Нернсту, — частицы все той же мировой среды, частицы эфира. Надо отметить, что, называя эту среду эфиром, Нернст гораздо теснее, чем обычно делали, связывает ее с общей эволюцией материи в мире, превращает эфир и в прародителя обычного вещества и в его могильщика.

А в 1946 году английские астрофизики Г. Бонди и Т. Голд предположили, что по мере расширения Вселен-

ной в космосе из физического вакуума спонтанно, без воздействия каких-либо особых внешних полей, возникает вещество (без антивещества). Их расчеты, дополненные Ф. Хойлом, были довольно хороши математически, идея остроумна, а количество рождающегося таким образом вещества настолько мало, что, казалось авторам, с этим можно было бы и примириться. Но хоть рождалось вещество чрезвычайно редко, это все равно было покушением на закон сохранения массы—энергии. Ученые, в общем, отнеслись к такой гипотезе весьма неодобрительно, однако уж очень хорошо она объясняла некоторые наблюдаемые факты.

Кажется, что проверить ее трудно: поди выясни, родилось ли новое вещество, когда появляться оно должно в мизерных количествах за огромные промежутки времени. И тем не менее вот уже десятка два лет, как именно наблюдения опровергли такое предположение. Только наблюдения совсем другие. Оказалось, что в прошлом в Метагалактике число радиозвезд было больше, чем в настоящем. Между тем «непрерывное рождение» вещества, по расчетам, должно было бы вести, наоборот, к их приумножению или во всяком случае к сохранению числа космических радиоисточников на одном и том же уровне.

Еще до того, как гипотеза была опровергнута фактами, она фактически была отвергнута теоретически. На святая святых физики — закон сохранения масса—энергии — покушаться никому не дозволено. И огромное большинство физиков сыграло в этой ситуации благородную роль Профессора из пьесы-сказки Маршака «Двенадцать месяцев». Там, вы помните, он заявил девочке-королеве, пожелавшей отменить закон природы, что это не в ее власти.

Мировая физика в целом категорически отвергла посягательство на закон сохранения. Чего не может быть, того не может быть. Физики любят «безумные идеи», только каждый раз в таком «безумии» есть, как в безумии Гамлета, система, да еще какая четкая!

Но из того, что вакуум не может порождать частицы спонтанно, самопроизвольно, совсем не следует, что он вообще на это не способен при определенных воздействиях.

Вакуум отзывается на воздействие внешнего поля, меняется, перестраивается, изменяет свои свойства. Мы с вами уже говорили, скажем, о поляризации вакуума,

да, собственно, во всех случаях его встреч с частицами меняются не только они и управляющие ими силы — меняется вакуум, уже потому, что в нашем многосложном мире все находится во взаимодействии, взаимно действует.

Что, если на вакуум подействовать не просто полем, а полем чрезвычайно сильным? Полем, которое несет в себе энергию, достаточную, чтобы по крайней мере некоторые виртуальные частицы превратить в реальные? Ведь чего, собственно, недостает эфемерным частицам-призракам для того, чтобы облечься в плоть и кровь и сменить свой достаточно условный ранг на более официальный статус в микромире? Недостает именно энергии. Приложите ее достаточное количество, и «море Дирака», великий океан виртуальных частиц, примется рождать обыкновенное вещество плюс обыкновенное антивещество в соответствии со знаменитой формулой $E = mc^2$, где E — энергия, m — масса, а c — скорость света.

В нашем случае формула примет вид: $m = \frac{E}{c^2}$.

В многообразной Вселенной совсем не так мало должно быть мест, где энергия прикладывается к вакууму именно требуемым образом и именно с такими результатами.

Энергию для «производства» из вакуума реальных частиц могут дать и гравитационное поле, и поле электромагнитное.

Еще в 1939 году Э. Шредингер (сам Шредингер, автор классического уравнения квантовой механики, на века получившего его имя) теоретически обосновал ситуацию, при которой из вакуума должны рождаться частицы. Но затем... изредка бывает, что в физике уравнения (как и эксперименты) оказываются, по крайней мере на время, мудрее своего творца: тот не решается иногда признать объективно правильными свои результаты. Со Шредингером именно это и произошло: он посчитал возможность рождения частиц из вакуума просто-напросто недостатком теории, из которой исходил в своих рассуждениях и вычислениях.

Прошло сорок с лишним лет. За это время во всем мире появились многие десятки, если не сотни, научных статей, рассматривающих те или иные подходящие (либо неподходящие) обстоятельства для рождения частиц и

античастиц из вакуума. Такие пары могли появляться из вакуума в начальной стадии эволюции Вселенной. Рождаются они и сейчас — там, где природа воздействует на вакуум чудовищными по силе полями. Без учета эффекта рождения пар частиц и античастиц нельзя, например, понять физику знаменитых нынче «черных дыр».

Гипотезу Наана о рождении мира и антимира из вакуума академик Я. Б. Зельдович не поддерживает. Но он привлек идею рождения частиц из вакуума в сильных гравитационных полях для того, чтобы объяснить, почему свойства нашей Вселенной поразительно однородны на всем известном нам ее протяжении. Первоначальная Вселенная, сразу после Большого взрыва, такой однородной, по-видимому, не была: это частицы, порожденные вакуумом, усреднили ее свойства. Словом, если наша Вселенная и не рождена из вакуума целиком, то все же обязана ему своей нынешней структурой, организацией.

Победы квантовой теории — и еще больше то, что к этим победам привыкли, стали ощущать их прочность, — привели к признанию: вакуум действительно может рождать «настоящее» вещество. Для этого требуется воздействие электромагнитного поля очень большой напряженности. Правда, нужная для «взрыва вакуума» напряженность для нас технически недостижима, но дело, как говорится, в принципе. В космосе столь мощные электромагнитные поля, по-видимому, должны существовать.

Как хочется физикам увидеть рождение реальных частиц из вакуума не в космосе, а на Земле, в своих лабораториях!

По закону Кулона поле между электрическими зарядами растет не только с увеличением зарядов, но и с уменьшением расстояния между ними. Создать такие мощные заряды, чтобы поле между ними вызвало взрыв вакуума, мы пока не можем; так обратимся к ситуациям, в которых те же напряженности поля возникают из-за малых расстояний. Сложится такая ситуация может, например, если два ядра атома урана сблизить до дистанции в 10^{-11} сантиметра, то есть всего в несколько десятков раз большей, чем диаметры самих ядер. Для этого атомные ядра надо друг к другу подтолкнуть, очистив их от всех электронных оболочек, как картошку от кожуры.

Практически это выражается в том, что пучки тяжелых ионов направляют на мишени с тяжелыми ядрами. В тот момент, когда «снаряды» попадают в «цель», два ядра могут оказаться достаточно близко, чтобы дать нужную напряженность поля, разбудить спящий вакуум.

Предыдущий абзац начат со слов «практически... выражается». И действительно, опыты такого рода ставятся, и проводящие их физики полагают, что в самом ближайшем будущем добьются своего.

Рождение же реальных частиц из вакуума в гравитационном поле вряд ли придется наблюдать в земной лаборатории даже в относительно отдаленном будущем. Не умеем мы манипулировать гравитационными зарядами, как делаем это с электромагнитными (будем только помнить старый завет: никогда не говори «никогда»).

Однако в космосе сверхмощные гравитационные поля существуют. Физический эксперимент может быть заменен астрономическими наблюдениями, сравнением данных астрофизики с теоретическими предсказаниями.

Как же конкретно может происходить превращение виртуальных частиц в реальные? Каким образом привидения микромира могли бы потерять свою призрачность? Рассказ об этом придется начать с книги, которую академик А. Б. Мигдал выпустил в 1978 году в издательстве «Наука» под заголовком «Фермионы и бозоны в сильных полях».

В главе «Все силы мира» уже шла среди прочего речь о бозонах как частицах и группах частиц, которые способны объединяться в слаженные однородные коллективы. Тогда мы с вами отложили более подробный разговор о бозонах, теперь же самое место для него, как и для сообщения о том, что такое фермионы.

Бозоны и фермионы — два самых широких класса, на которые делит квантовая механика все подведомственные ей частицы. И если бозоны обязаны своим именем, как вы уже знаете, индийцу Ш. Бозе, то фермионы — знаменитому итальянцу Э. Ферми.

Главное отличие одного класса от другого — величина спина. Когда в теорию вводили это понятие — спин, то полагали, что электрон похож на вращающийся волчок, спин же (название от английского глагола, означающего «вращаться», «вертеться») характеризует такое вращение. В дальнейшем эта аналогия оказалась неверной, не удастся, увы, здесь привлечь, хотя бы для попу-

лярного объяснения, какое-либо другое сравнение из нашего большого мира. Остается привести определение из справочника: спин — «собственный момент количества движения элементарных частиц, имеющий квантовую природу и не связанный с перемещением частицы как целого... Спином называют также собственный момент количества движения атомного ядра (и иногда атома)....».

У бозонов спин равен (в специальных единицах) нулю или целому числу, у фермионов спин, как говорят физики, полуцелый — равен $1/2$, $1\ 1/2$ и т. д.

Поведение частицы по отношению к себе подобным чрезвычайно зависит от того, целый у нее спин или полуцелый. Именно этим определяется способность или неспособность каждой элементарной частицы «терпеть» поблизости от себя, в своей физической системе, собственного двойника, такую же точно частицу да еще в том же энергетическом состоянии.

Бозоны частицы уживчивые и терпимые, у них двойники друг другу не мешают.

Сходные же между собой фермионы можно уподобить двум медведям, которым друг с другом в одной берлоге не ужиться.

Пример? Спин электрона — $1/2$, то есть это фермион. В атомной оболочке электроны «сосуществуют», но среди них не найти двух, находящихся в одном и том же энергетическом состоянии. Если же в атоме, хотя бы в результате обмена электронами с другим атомом в ходе химической реакции, появится энергетический двойник одного из электронов-«хозяев», гостю придется, чтобы избавиться от опасного сходства и остаться в атоме, излучить часть энергии в виде фотонов.

Собственно, тут соблюдается принцип Паули. Принцип, что сыграл, как уже говорилось, важнейшую роль для появления в физической теории «моря Дирака», уже и в самом первом его варианте, как бездонного океана из электронов с отрицательной энергией.

Фермионы — это электроны и нуклоны, кварки, нейтрино и мю-мезоны и великое множество других частиц, а также связанные системы из нечетного числа фермионов, скажем, атомные ядра с нечетным ядерным зарядом... К фермионам относят и немалое число представителей разнородного семейства квазичастиц. Можно было бы сказать, что мы с вами нацело состоим из одних фермионов (ведь в атом входят только фермионы — про-

тон, нейтрон и электрон), но это не так, поскольку связанная система из четного числа фермионов обращается в бозон. Мы видели уже это на примере пар электронов в сверхпроводнике. Бозоном оказывается и атомное ядро с четным ядерным зарядом, например ядро кислорода.

Книга Мигдала посвящена как раз перестройке вакуума в сильных внешних полях. Написана, она, разумеется, для физиков. А в популярной брошюре «Поиски истины», вышедшей в том же 1978 году в издательстве «Знание», академик дал образ для одного из тех процессов, которые во всеоружии теории разбирает в научной книге.

Вот большая цитата.

«Предположим, что внешнее поле имеет вид широкой потенциальной ямы. Что такое потенциальная яма, мы сейчас поясним. Самый простой пример потенциальной ямы представляет собой яма, вырытая на поверхности земли. На дне ямы потенциальная энергия частицы или, для определенности, камня, минимальна. При сбрасывании камня он приобретает кинетическую энергию, равную разности потенциальных энергий на краю и на дне ямы. По мере углубления ямы будет увеличиваться энергия, вырабатываемая частицей при падении в яму. В вакууме у верхнего края ямы непрерывно рождаются и исчезают всевозможные частицы. Для того, чтобы такая «виртуальная» частица стала реальной, ей, согласно знаменитой формуле Эйнштейна, необходимо передать энергию, равную mc^2 , где m — масса частицы, а c — скорость света. Энергия, передаваемая полем частице при ее падении на дно ямы, может пойти либо на увеличение кинетической энергии уже родившейся частицы, либо на то, чтобы перевести виртуальную частицу у верхнего края ямы в реальную частицу, находящуюся на дне ямы».

Возможность перехода виртуальных частиц вакуума в частицы реальные — отнюдь не новость уже и для читателей этой книги. Но в ситуации, которую рассматривает Мигдал, вакуум порождает вещество с тем, чтобы снабжаемая этим веществом звезда обрела фантастическую плотность, в несколько раз большую, чем та, какую имеет вещество в атомном ядре.

В качестве источника сильного внешнего поля выступает нейтронная звезда. Это в ее мощном поле виртуальные частицы, «падая» в чрезвычайно глубокую потенциальную яму, обращаются в реальные.

Прежде всего такое превращение происходит с пиезонами (сокращенно их зовут пионами). Благодаря пионной конденсации наступает момент, когда в сердце звезды, в самом ее центре, появляется зародыш сверхплотного вещества. Этот зародыш стремительно, за ,тысячные доли секунды, разрастается, пока почти вся масса звезды не переходит в это новое состояние. А затем может последовать чудовищный взрыв.

Не будем входить в более тонкие детали происходящего, самое важное для нас в результатах взрыва то, что раскаленная наружная часть звезды (оболочка) может оказаться выброшенной далеко в пространство.

Это событие, возможно, наблюдается на земле как вспышка Сверхновой. Такие вспышки с древнейших времен заносились в летописи и хроники, память о них хранили не только астрономы, но и историки, не сведущие в науке о небе. Еще бы! На время максимума вспышки одна-единственная звезда становится ярче миллиарда таких звезд, как Солнце.

Довольно давно уже вспышку Сверхновой объясняют как результат ядерных реакций, сопровождающий само образование нейтронной звезды. Предположение Мигдала выделяет, по сути, два типа вспышек Сверхновых: для первого из них верно старое объяснение, для второго типа предназначено новое. Впрочем, «возможно, не все вспышки сверхновых сводятся к этим двум типам. Дальнейший анализ наблюдательных данных позволит установить, нет ли необходимости искать еще какие-либо объяснения», — пишет ученый.

Итак, событиям, происходящим в вакууме, могут быть обязаны своим возникновением самые яркие — пусть на короткое время — из звезд.

Именно благодаря рождению частиц из вакуума плотность нейтронных звезд повышается в несколько раз, пока, наконец, не возникает возможность взрыва. Факт пионной конденсации может иметь для наших представлений о космосе и иные последствия.

Одна из самых «модных» в науке тем сегодня связана с проблемой «черных дыр». Теория говорит как будто, что чрезвычайно плотная нейтронная звезда (возникшая в результате стремительного взрывообразного сжатия звездного вещества, сжатия, именуемого гравитационным коллапсом) может, снова пройдя через такой коллапс, обратиться в грандиозную гравитационную ловуш-

ку: тяготение вблизи поверхности космического тела становится столь могучим, что из его цепей не может вырваться даже свет. Гравитационным гробом назвал это чудовищное образование академик Зельдович.

«Черная дыра» становится объектом, засасывающим частицы и газ; окружность ее по экватору должна быть во столько же раз больше девятнадцати километров, во сколько раз ее масса больше массы Солнца. «Черные дыры» могут, как считается, быть совсем крошечными, массой всего в несколько сот современных океанских кораблей, и гигантскими, в десятки миллионов раз превышающими по массе наше Солнце.

Ну а типичный, средний «гравитационный гроб», следует из расчетов, должен иметь «в охвате» от шестидесяти до тысячи километров и превышать Солнце по массе от трех до пятидесяти раз.

Пионная конденсация покушается по крайней мере на часть этих любимых детищ современной космологии. Благодаря возникающим из вакуума пионам, как получается по модели Мигдала, нейтронная звезда может взорваться при плотности, еще недостаточной для того, чтобы она могла обратиться в «черную дыру».

Тогда путь к превращению в «черные дыры» открыт только звездам-гигантам: у них гравитационный коллапс происходит при относительно меньшей плотности вещества, и поле их благодаря этому обстоятельству недостаточно сильно для массового «изготовления» пионов, для наступления стадии пионной конденсации.

Если же пионная конденсация не ведет непременно к взрыву нейтронной звезды, то вырисовывается вот такая перспектива. При определенной плотности нейтронного вещества сами нейтроны должны распасться на кварки, звезда станет уже не нейтронной, а кварковой. Возможно ли в принципе достижение столь большой плотности в звезде, неизвестно.

В мире должно быть не так уж и мало мест, где сильные внешние поля должны стимулировать рождение реальных частиц из вакуума в весьма солидных масштабах. Например, гравитационное поле «черной дыры» достаточно велико, чтобы в ее окрестностях из вакуума рождались реальные частицы, то есть чтобы виртуальные частицы обретали более или менее продолжительную жизнь вместе с положенной им в этом случае массой.

Вот как объясняют тепловое излучение «черных дыр» физики С. В. Хокинг (Англия) и В. Израэль (Канада) в статье, опубликованной в советском журнале «Успехи физических наук».

Виртуальная пара частиц в вакууме может быть разлучена: «если имеется черная дыра, то один член пары может упасть в нее, оставляя второго без партнера, с которым он мог бы проаннигилировать. Покинутая частица или античастица может последовать за своим партнером в черную дыру, но она может также ускользнуть...» и появиться как частица или античастица, испущенная «черной дырой».

А дальше авторы статьи пускаются в рассуждения о том, какую форму может принимать такое излучение, и приходят к выводу, что «черная дыра» с равной вероятностью будет излучать всякую конфигурацию частиц, может в принципе «излучить телевизионный приемник или даже самого Чарлза Дарвина, но число конфигураций, отвечающих таким экзотическим возможностям, очень мало».

Велика ли во Вселенной доля частиц, рожденных вакуумом под влиянием сильных полей? Тут мнения расходятся. С. Г. Мамаев и В. М. Мостепаненко делают, например, в одной из своих статей такой вывод: «Это позволяет интерпретировать возникновение Вселенной как проявление своеобразной неустойчивости вакуумного состояния квантового поля». Правда, в другой работе, вышедшей в том же 1978 году, те же авторы вместе с А. А. Грибом пишут: «...Результаты показывают, что плотность рожденного вещества и антивещества для известных элементарных частиц мала по сравнению с наблюдаемой плотностью вещества во Вселенной. Поэтому объяснить возникновение всего вещества таким путем невозможно по крайней мере на настоящей стадии эволюции».

Но пожалуй, противоречия здесь и нет: ведь во втором случае имеется в виду «настоящая стадия эволюции», а не первоначальная.

Кроме того, полезно иногда вспоминать элегический вздох Роберта Фейнмана: человеку, не работающему профессионально в науке, трудно поверить, сколько доводов можно привести в пользу каждой из пяти-шести противоречащих друг другу теорий.

Сравнительно недавно вышла монография советского

физика А. А. Гриба под очень многозначительным названием — «Проблема неинвариантности вакуума в квантовой теории». Неинвариантность — значит изменяемость.

Вспомните наш недавний разговор о преобразованиях, связанных с физическими симметриями. Здесь особо надо обратить внимание вот на какое обстоятельство. В квантовой механике одним и тем же значениям наблюдаемых величин могут соответствовать многие различные состояния физических систем. Поэтому одни и те же вакуумные эффекты могут вызываться разными причинами. Так повышение температуры у человека до 39 градусов может быть вызвано не одной какой-нибудь, а многими разными болезнями.

Ученый разбирает в своей монографии возможность существования множества состояний вакуума, более того, многих вакуумов, которые могут переходить друг в друга. «Один вакуум,— пишет Гриб,— можно получить из другого некоторым преобразованием».

В моделях вакуума физики уподобляют его сверхтекучей жидкости, сверхпроводнику, сегнетоэлектрику. Все это модели, каждая из которых отражает лишь часть свойств оригинала, а сам этот оригинал способен меняться. Гриб решительно утверждает: пустота стала «основой мира».

Можно, конечно, заметить — и это замечание будет до некоторой степени справедливо,— что грандиозные космические вакуумные эффекты пока что скорее предсказываются теорией, чем точно и доказательно определяются в явлениях, наблюдаемых астрономами.

Но ведь астрофизика, хоть и занимается звездами, остается в полной мере наукой земной.

Ханнес Альвен, один из крупнейших физиков и космологов мира, заметил как-то, что «астрофизика представляет собой в основном применение законов природы, открытых в лаборатории, к космическим явлениям». И действительно, земной характер понимания небесных событий хорошо демонстрируется всей историей науки. Чтобы открыть радиозвезды, требовалось как минимум открыть радиоволны, более того, научиться их генерировать. И все суждения величайших мудрецов (именно мудрецов, без капли иронии) о том, откуда берут свою энергию Солнце и звезды, были сугубо умозрительными и неверными до рождения на Земле ядерной физики.

Точно так же нельзя было ожидать правильных гипотез о влиянии вакуума на звезды и прочие небесные объекты прежде, чем вакуумные эффекты, вроде лэмбовского сдвига, удалось увидеть в лаборатории.

Вакуумные эффекты, очень возможно, уже давно буквально «бьют в глаза» астрономам, только надо понять, что именно с ними связаны те или иные особенности излучения по крайней мере некоторых звезд.

Приведу пример, который, правда, может показаться скромным рядом с идеей рождения из вакуума сразу мира и антимира.

В «Журнале экспериментальной и теоретической физики» была опубликована статья Г. Г. Павлова и Ю. А. Шибанова «Влияние поляризации вакуума на распространение волн в плазме». Имеется в виду поляризация вакуума сильным магнитным полем, а плазма в названии работы — звездное вещество.

Магнитное поле наводит, как мы уже знаем, свой порядок среди виртуальных частиц, изменяя характер их расположения, и в результате вакуум меняет свои свойства. Фотоны теперь движутся в нем не как в однородном во всех направлениях пространстве, а как в анизотропной среде, способной преломлять электромагнитные волны. Это, показывают расчеты, должно менять характер излучения целого ряда космических объектов, таких, вероятно, как рентгеновские пульсары, некоторые белые карлики и т. д.

Авторы статьи категорически заявляют: «Чтобы правильно истолковать наблюдения в рентгеновском, ультрафиолетовом и оптическом диапазонах, надо учесть влияние поляризации вакуума». И указывают на некоторые особенности излучения, которые следуют из их расчетов. Если эти особенности астрономам удастся обнаружить, ученые получают возможность изучать такие вакуумные эффекты, каких ни ныне, ни в скором будущем не получить искусственно ни в одной земной лаборатории.

ЧТО И ВАКУУМУ НЕ ПОД СИЛУ

Вы уже познакомились с некоторыми явлениями, которые происходят или по крайней мере могут происходить в вакууме.

Однако в науке имеют ценность утверждения не только о том, что есть или может быть, но и о том, чего быть не может. Я. Б. Зельдович посвятил небольшую работу некоторым спонтанным, то есть самопроизвольным, процессам, которые в вакууме идти не могут.

Необходимость в такой статье, по мнению ее автора, возникла постольку, поскольку именно эти процессы некоторые теоретики полагали возможными.

Существует гипотеза о тахионах — частицах, всегда движущихся быстрее света. «Запрет Эйнштейна» на превышение скорости света при этом обходится виртуозно: световой барьер представляет для тахионов такую же непреодолимую преграду, как и, скажем, для электронов, но в отличие от тех же электронов (и остальных обычных частиц, имеющих массу покоя) тахионы набирают энергию (и эквивалентную ей массу) при торможении, а теряют при ускорении. Эйнштейновский световой барьер для них не верхний, а нижний предел, они живут в «мире наоборот». У тахионов, как следует из формул, масса должна быть мнимой. В некоторых же гипотезах появились уже частицы и с отрицательной массой и энергией.

Легко представить (после всего, что в этой книге вы уже прочли), как в вакууме рождается одновременно набор реальных частиц, в том числе и обычных и экзотических. Набор, в котором у половины составляющих его частиц масса обычная, а у другой половины отрицательная, так что суммарная масса набора равна нулю; ну и суммарная энергия тоже равна нулю, как нулю равен и суммарный импульс.

Все как будто прекрасно: и закон сохранения массы-энергии соблюдается, и частицы рождаются из вакуума без мощного энергетического воздействия на него.

Словом, по поговорке: и овцы целы, и волки сыты.

Все бы хорошо. Только даже в квантовой физике нельзя сразу накормить волков и сохранить в целости овец. Расчеты, которые приводит Зельдович, показывают, что такой вариант одновременного самопроизвольного рождения частиц обычных и экзотических нереален.

Заканчивает свою статью ученый категорически: «Есть все основания предполагать, что вакуум стабилен, и спонтанный распад вакуума не происходит».

ВОКРУГ НЕЙТРИНО

Уже не раз на страницах этой книги на фоне вакуума появлялась самая таинственная из открытых до сих пор частиц — нейтрино. Вы читали о том, как пытаются, заглядывая в историю науки, разглядеть реальные черты нейтрино в гипотетическом «эфирном атоме» Дмитрия Ивановича Менделеева. Многие авторы гипотез о строении вакуума видят в нейтрино будущих союзников, с помощью которых можно было бы проверить, так ли происходит дело на практике, как в мысленных экспериментах. Высочайшая проникающая способность этих частиц делает их незаменимым инструментом в исследовании структуры микромира.

А самое, пожалуй, важное в нейтрино для темы книги, что теории Великого объединения, основанные на свойствах физического вакуума, требуют от этой частицы обладания массой.

Сейчас нейтрино заняли в физике очень важное место: только они одни из всех элементарных частиц «добились» столь высокой чести, как право иметь собственную комиссию в системе Академии наук СССР. Возглавляет нейтринную комиссию академик Бруно Максимович Понтекорво.

В 1980 году в Советском Союзе в Институте теоретической и экспериментальной физики В. А. Любимовым, Е. Г. Новиковым, В. З. Нозиком, Е. Ф. Третьяковым и В. С. Козиком был поставлен эксперимент, в котором впервые удалось определить массу нейтрино. Она оказалась равной примерно 30 электронвольтам (а точнее, не более 46 и не менее 14 электронвольт).

Эксперимент этот будут еще не раз ставить и перепроверять. И не потому, что кто-нибудь не желает доверять авторам открытия; просто слишком оно важно для правильного понимания устройства мира на всех его уровнях — от микро до мега.

Если у нейтрино действительно есть масса покоя, тогда из всех известных нам элементарных частиц без таковой остается только фотон.

Масса покоя нейтрино разрешает старый парадокс «скрытых масс», он же парадокс Цвикки (по имени известного швейцарского астрофизика). Суть его вот в чем. Масса каждой галактики связана с ее светимостью. Поэтому, сколько света исходит из галактики (или скопле-

ния галактик), высчитывают, разумеется примерно, ее массу. Ту же самую массу можно определить и другим способом — по скоростям обращения звезд, расположенных на разных расстояниях от центра галактики. Последний метод должен быть более точным, поскольку на движение звезды в галактике влияет притяжение всех объектов этой большой звездной системы.

Масса галактики (или группы галактик), вычисленная по светимости, может оказаться порой в два, а то и в десять раз меньше, чем та, которая определяется по движению звезд. И такое различие в результатах никак не может быть объяснено неточностью расчетов. Все дело в том, что в первом случае учитываются только видимые объекты, во втором — и невидимые. Ну а если нейтрино действительно обладают массой покоя, то и они вносят свой вклад, увеличивая общую массу галактик.

Каждое открытие не только отвечает на давние вопросы, но и ставит новые. Открытие массы покоя у нейтрино не исключение. Правда, из наличия некоторой массы покоя у нейтрино исходили и теории Великого объединения, но массы не такой большой, какую обнаружили московские ученые. Стало быть, если эксперимент был точен (а это докажет или опровергнет последующая проверка), то и в теории Великого объединения будут внесены соответствующие изменения.

Вот такая важная частица — нейтрино, то нейтрино, которое почти невозможно заметить.

Я. Б. Зельдович и Б. М. Хлопов посвятили большую статью в журнале «Успехи физических наук» 50-летию с момента, когда Паули «на кончике пера» открыл нейтрино (и стал осуждать себя за то, что выдвинул гипотезу, не поддающуюся проверке; в последнем он ошибся). Они пишут, в частности, с подобающим случаем пафосом: «Почтим в заключение юбиляра: всего за полвека из ускользающей сущности нейтрино превратилось в фундамент нашего существования. Малая масса придала ему высочайший вес в масштабе Вселенной. Произошла «нейтринная революция»... Она произвела переворот в нашем подходе к физическим явлениям. И если долгое время господствовал принцип бритвы Оккама — «отрезают все лишнее», — то теперь нас уже не пугает ее холодная сталь. Все, что не запрещено, может произойти. Что запрещено — не окажется ли разрешено в будущем, в свете новых данных»,

Вот какую свободу почувствовали физики, когда у частицы, почти полвека считавшейся безмассовой, эта масса обнаружилась!

Так и чувствуется здесь, в словах Зельдовича и Хлопова, то умение радоваться новому, которое когда-то заставило Демокрита заявить, что он предпочитает трону персидского царя установление одной новой причинной связи.

С нейтрино мы еще не расстаемся. Потому что именно о нем немало говорили на недавнем Международном конгрессе, посвященном океану... нет, не «океану Дирака», а вполне земному Тихому океану. В Хабаровске в августе 1979 года состоялся этот конгресс. Мне повезло, я был на нем.

ФИЗИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ В ТОЛЩЕ ОКЕАНА

«А океан здесь причем? Ведь речь идет об исследовании глубинных свойств материи. Речь идет о физике высоких энергий, о строении далеких звезд и галактик и, может быть, Вселенной — причем же здесь океан?» — спрашивают нас, физиков, работающих над проектом «Дюманд».

Так начал академик М. А. Марков свой доклад на пленарном заседании комитета «Морские науки» XIV Тихоокеанского научного конгресса. И затем рассказал о проекте, цель которого — создать самый большой в мире физический прибор, превратив огромный объем в толще океана в поле тончайших физических исследований.

Название «Дюманд» образовано из первых букв слов английской фразы, означающей в переводе: «Глубоководная регистрация мюонов и нейтрино». Немало написано о неуловимом нейтрино — частице, для которой практически не существует преград в нашем мире. Нейтрино, возникающие в центре обычной звезды, мгновенно пробивают толщу ее, вырываясь на просторы Вселенной. А скажем, фотон, частица света, тратит на путь от центра нашего Солнца до его поверхности в среднем миллион лет, переживая за это время множество превращений. И это еще не все. Долетев до верхних слоев земной атмосферы, фотон может уже в первых пяти — десяти атомных слоях «погибнуть», столкнувшись с частицами воздуха.

Для нейтрино же не только толща земной атмосферы, но и Земля не помеха. Чтобы наверняка поймать нейтрино, нужен слой свинца толщиной примерно в 3500 световых лет. Правда, это идеальное условие эффективной, стопроцентной по результатам охоты на нейтрино. Согласно законам квантовой механики какая-то часть нейтрино — ничтожная, конечно, — сталкивается все же с протонами и нейтронами земного вещества и на гораздо меньших расстояниях. Причем именно с протонами и нейтронами, потому что атомные ядра в целом для нейтрино представляют собой конструкции ажурные, оно может пройти между частицами ядра, «не заметив» их.

Первым в мире более двадцати лет назад как раз академик Марков пришел к выводу о возможности в земных условиях зарегистрировать нейтрино высоких энергий. Детально разработал вскоре проблему под руководством Маркова в своей дипломной работе И. М. Железных, в ту пору студент. На основе этих теоретических разработок были сооружены первые устройства для ловли нейтрино японцами и англичанами в Индии и американцами в Южной Африке. Устройство разместили в чрезвычайно глубоких шахтах, прежде использовавшихся для добычи драгоценных металлов. Под руководством А. Е. Чудакова была построена Институтом ядерных исследований АН СССР на Северном Кавказе, в Баксане, первая очередь советской нейтринной установки; установка растет и совершенствуется, но в каких трудных условиях! Условиях, заданных самой природой.

Нашу Землю непрерывно бомбардируют потоки летящих издалека частиц — космические лучи. Нейтрино — лишь наименее заметная для планеты их часть. Выделить редчайшие столкновения нейтрино с веществом планеты на фоне бурных и частых встреч с этим веществом других частиц куда труднее, чем услышать во время канонады далекий хлопок в ладоши. Вот другое сравнение. Надо забросить в кишасщее разной рыбой море сеть с мелкими ячейками и ухитриться, чтобы крупная рыба в нее не попала, а только совсем маленькие рыбешки.

Ученые нашли способ использовать для решения проблемы как раз то безразличие нейтрино к препятствиям, которое мешает регистрировать эти частицы. Физики поставили на пути космических лучей стену из камня, ушли под слой земли, которая останавливает прочие частицы (кроме несущих самую большую энергию), пропуская

в то же время нейтрино. «Крупная рыба» оказывается выловленной прежде, чем она дойдет до сети с мелкими ячеями.

Объем камеры, углубленной в землю, составляет несколько сот кубических метров, регистрирующая поверхность камеры — несколько сот квадратных метров. Вот на эту поверхность и должны поступать сигналы от столкновения нейтрино с протонами и нейтронами.

Столкновения такие происходят чрезвычайно редко. Баксанская лаборатория считает их десятками в год! Между тем физика элементарных частиц привыкла изучать реакции, наблюдаемые миллионы и миллиарды раз. Только тогда удается выяснить тонкие детали хода этих реакций.

Уйдя под землю, физики на Северном Кавказе оставили между своими приборами и космическими лучами слой грунта, соответствующий шестистам метрам воды. Океан может дать нам фильтр толщиной в несколько километров. Более активные, чем нейтрино, частицы прореагируют с водой в этом слое. Только нейтрино (и другие высокоэнергичные частицы, мюоны, тоже весьма интересные для физиков объекты) проникнут в «камеру».

Идею использовать океанскую воду для ловли нейтрино предложил опять же Марков еще в 1960 году. Она жила, развивалась, и вот лет десять с лишним назад американские физики выдвинули проект подводного детектора, или, проще говоря, регистратора нейтрино. Его объем по замыслу ученых должен был составлять миллион кубических метров воды на глубине в пять километров! Сегодня у физиков речь идет уже о миллиарде кубометров океана, о целом кубическом километре, весящем миллиард тонн.

Как же можно превратить кубический километр тихоокеанской воды в работающую часть физической лаборатории?

Вот сверхэнергичное нейтрино, только одно из многих квадрильонов ему подобных, сталкивается с протоном — ядром атома водорода или частицей ядра атома кислорода. В столкновении рождается лавина новых частиц, уже не таких неуловимых, как исчезнувшее нейтрино. Начальная их скорость равна скорости света в пустоте. Скорость света в воде чуть меньше, чем в пустоте, и частицы по пути замедляются, теряя энергию. Эта энергия выделяется в виде черенковского свечения, названного

так по имени первооткрывателя этого явления советского ученого П. А. Черенкова.

Свечение Черенкова можно зарегистрировать. Для этого надо установить в воде приборы, которые его уловят.

Каждый случай такого свечения будет пойман несколькими ловушками, они отметят путь светового луча, а этот луч продолжает траекторию нейтрино, вызвавшего его появление. Значит, мы узнаем направление нейтрино, угодившего в камеру. Интересно, если это нейтрино преодолело по дороге четыре километра воды, придя в камеру сверху; еще любопытней, если оно поступит в прибор снизу, со стороны океанского дна, прорезав всю толщу планеты. В Баксанской лаборатории регистрировали, например, нейтрино, входившие в тело Земли на территории Южной Америки.

Мы узнаем, хотя бы приблизительно, какая частица, с какой энергией пришла к нам, определим ее путь и выясним, из какого участка неба она прилетела, какого типа космический источник ее породил.

Узнаем неизвестные прежде особенности взаимодействия частиц при таких высоких энергиях, это может дать ключ к загадкам строения материи на самом глубинном уровне микромира, раскрыть новые тайны вакуума, дать фактическую основу для создания единой теории физического строения Вселенной.

Вы уже знаете в общих чертах, какая ответственная роль отведена вакууму в теории Вайнберга—Салама. Мы не раз говорили и о том, что некоторые положения этой теории пока что не могут быть ни подтверждены, ни опровергнуты, потому что эксперименты для этого надо ставить с частицами гигантских энергий — таких, какие не могут быть достигнуты на ускорителях, по крайней мере в ближайшие десятилетия. Между тем и уже существующие ускорители называют пирамидами ядерного века за их громадность и гигантскую стоимость. Правда, на них получают частицы с энергией, которая исчисляется миллиардами электронвольт. Но для экспериментов, о которых идет речь, нужны частицы, несущие многие триллионы электронвольт. Возможно, среди нейтрино как раз такие и найдутся!

Со дна океана, с глубины примерно пять километров, должен подняться лес гигантских «водорослей» — кабелей, длиной 1600 метров каждый. На них повиснут —

метров по шесть в диаметре — светоловушки, детекторы черенковского свечения. Вертикальных кабелей, по предварительным данным, должно быть примерно 1260, светоловушек — 23 тысячи. Эта шестиугольная в сечении ажурная конструкция — пока в чертеже — напоминает пчелиный сот, древнее инженерное изобретение живой природы.

Вертикальные кабели отходят от горизонтальных, уложенных на дно, те связаны с лабораторией, построенной на берегу.

Идее светоловушек два с лишним десятилетия. В 1976 году на рабочее совещание на Гавайских островах советские физики Г. А. Аскарьян и Б. А. Долгошеин и американец Т. Боуэн представили доклады еще об одной возможности регистрации столкновений нейтрино с протонами и нейтронами.

Лавины частиц, рождающихся в таких столкновениях, должны нагревать воду. Всего примерно на миллионную долю градуса, зато за ничтожную долю секунды. Расширяясь от нагревания, вода издает звук, что-то вроде щелчка. Звук можно услышать в воде на расстоянии, гораздо большем, чем то, на котором можно увидеть в ней слабое свечение.

Предлагается дополнить камеру гидрофонами, подвешенными на кабелях к плавучим буям. Их можно расположить сравнительно далеко друг от друга, устройство звуковой ловушки куда проще, чем световой, она сама в десятки раз дешевле. Гидрофоны позволяют еще больше расширить камеру: дополнением к миллиарду кубометров воды с ловушками обоих типов должны стать девятью миллиардами кубометров океана, оборудованных только гидрофонами. Звук даст пусть и менее полные, но тоже бесконечно важные сведения о нейтрино, причем приобретены они будут значительно дешевле.

Академик М. А. Марков в своем докладе обратил главное внимание на ценность «Дюманда» для выяснения глубинных свойств материи; американский физик Джон Лейрнд больше говорил о том, что может дать «Дюманд» астрофизикам.

Сверхэнергичные нейтрино приходят на Землю не от Солнца (оно порождает нейтрино менее мощные), а от звезд, превращающихся в знаменитые пульсары и «черные дыры», их порождают далеко не ясные нам события в ядрах галактики и иные процессы чудовищных энергий.

Осуществление «Дюманда» — единственный реальный сегодня способ ответить на давний вопрос, есть ли звезды и галактики, состоящие из антивещества, заявил Лейнрд. Кроме нейтрино, существуют ведь и антинейтрино, и количественное соотношение этих частиц в потоке космических лучей, посылаемым источником из антивещества, может быть другим, чем в потоке, идущем от «обычного» космического источника.

Джон Лейнрд рассказал о конкретных усилиях американских ученых по разработке проекта «Дюманд». Они уже нашли подходящее, по их мнению, место для осуществления проекта — в Тихом океане, в международных водах неподалеку от Гавайских островов. Здесь глубины в пять с лишним километров располагаются всего в шестидесяти километрах от берега.

«Дюманд» слишком огромное по размаху дело, чтобы его могла осуществить одна страна. Это, по мнению американского физика, уникальная возможность для международного сотрудничества. «Дюманд», заявил Лейнрд, может стать моделью будущих еще более грандиозных международных проектов.

Работа симпозиума «Дюманд» была перенесена в последние дни августа на берега Байкала. Здесь член-корреспондент АН СССР А. Е. Чудаков выступил с предложением создать на дне Байкала модель «Дюманда» в одну тысячную его полной величины. Такая задача технически облегчается тем, что Байкал зимой покрывается льдом, и элементы конструкции можно будет опускать на дно со льда в каком угодно месте озера. Байкал, конечно, не так глубок, как океан (максимальная глубина 1400 метров), но ведь лиха беда начало. Модель «Дюманда» должна быть не так уж мала — $100 \times 100 \times 100$ метров, и защитный слой воды в 1300 метров удовлетворяет многим условиям. Обсуждается возможность установки сходной модели и в одном из других озер на территории нашей страны. И все-таки это, конечно, именно только модели. А обсуждения судьбы большого «Дюманда» продолжаются.

УДИВЛЯЯСЬ СОБСТВЕННЫМ ПОБЕДАМ

Квантовая физика — наука не только молодая, но и «зеленая», незрелая, по авторитетному мнению тех, кто в ней работает. У квантовой физики множество трудностей.

Внутри нее существует несколько школ, во многом не согласных друг с другом. И в серьезных докладах порой (как это сделал на одной научной конференции академик М. А. Марков) сравнивают ситуацию в теоретической физике с сумасшедшим домом из анекдота, где каждый больной и каждый врач считает себя истинным Иисусом Христом, а всех остальных — ложными.

Следует, впрочем, подчеркнуть: противоречия во взглядах и мнениях физиков значительны, но все же общего в них гораздо больше. И уж во всяком случае масштаб разногласий, если позволительно так сказать, в квантовой физике ныне совсем иной, чем в конце прошлого века в теории эфира. А то, что физики спорят между собой, — явление вполне естественное.

Теории и методы, которые сами их создатели считают весьма далекими от совершенства, успешно объясняют результаты одних опытов и предсказывают результаты других. И главное, пожалуй, заключено вот в чем: сейчас попросту неизвестны физические измеримые эффекты, которые бы решительно противоречили теории. При этом следующие из теории вычисления достаточно часто совпадают с экспериментальными данными с поистине фантастической точностью. Например, квантовая электродинамика предсказывает сдвиг частоты в спектре атома водорода с точностью лучшей, чем до одной миллиардной доли. Потому-то квантовую теорию называют наиболее точным описанием природы. В то же время, констатирует М. А. Марков, «системы уравнений существующей теории решаются приближенно, да и то с существенными оговорками».

Картина, действительно, поразительная. Физика конца XX века выглядит тут прямой антитезой физике конца XIX столетия. Тогда она рисовалась стройной, всеобъемлющей, законченной во всех главных своих чертах. Теперь теоретическая физика — «собрание отдельных фрагментов» (М. А. Марков), то есть обрывков, кусочков.

Можно быть совершенно уверенным в том, что и в физике наступят лучшие времена. Такую уверенность внушает уже сам факт существования нынешних трудностей физики.

Поль ДИРАК

Восемьдесят лет назад физики были настолько довольны своей наукой, что даже не видели у нее будущего. «Все великие открытия уже сделаны»,— заявил в ту пору один большой ученый. Сегодня мы видим у «нашей физики» множество несовершенств, ученые недовольны своими теориями, зато как они верят в их будущее!

Старая физика удивлялась, когда у нее «не получалось», нынешняя, кажется, удивляется тому, что у нее все время что-то получается. Вот несколько цитат, демонстрирующих удивление наших современников собственными успехами.

М. А. Марков: «...результаты вычисления удивительным образом согласуются с экспериментальными данными».

Е. Вигнер: «Мы похожи на человека со связкой ключей, который, пытаясь открывать одну дверь за другой, всегда вставляет правильный ключ с первой или второй попытки».

Поистине поразительное зрелище, какого предыдущие века не знали: ученые испытывают удивление от того, что их теории оказываются верны, а расчеты подтверждаются на опыте.

Может быть, одна из причин такого удивления в том, что физики все еще не могут привыкнуть к ненаглядности своих теорий, к тому, что иногда называют даже трагедией ненаглядности.

Раньше, чем начать разговор об этой трагедии, надо договориться об определении самого понятия «наглядность». Чаще всего под ним понимают возможность представить себе явление или предмет в виде чувственного образа, то есть, собственно говоря, возможность подставить на его место такую модель, которая бы могла восприниматься непосредственно нашими органами чувств. Пылинка вместо атома у древних греков, планетная система вместо него же у Резерфорда удовлетворяют этому условию. А модель атома, предложенная Бором и Гейзенбергом, в которой энергия электронов излучается только строго отмеренными порциями и лишь при смене орбиты? Вот какого мнения на сей счет был сам Гейзенберг:

«Квантовая теория лишила атом доступных органам чувств наглядных представлений, данных нам в повседневном опыте». Не более наглядны (в том смысле, который придает этому слову Гейзенберг) и искривленное пространство Эйнштейна, и частицы, являющиеся одновременно волнами, и многое другое.

Английский писатель Чарльз Сноу, по «первоначальной» профессии физик, достиг в науке не слишком шумных, однако вполне ощутимых успехов. В своей книге «Поиски», в какой-то степени автобиографической, он рассказывает о том, как совершился этот переворот в сознании физиков. Раньше они мысленно рисовали картины явлений; эти картины (хотя бы атомов) становились все более запутанными и противоречивыми. Физики-«художники» оказывались не в состоянии дописать свои «произведения». И тогда, пишет Сноу, выход был найден: «Это будут все те же «атомы», но мы опишем их определенным математическим методом, вместо того чтобы пытаться мысленно нарисовать картину явления».

Между тем многие поколения физиков до этого воспитывались на том, что любое явление можно промоделировать механически, создать для него модель в виде тел (если надо, то движущихся).

Потрясение, вызванное тем, что наглядные модели не смогли объяснить новых открытий, было действительно трагичным для многих физиков. Обычно трагедии прошлого представляют для потомков не более чем исторический интерес. Потрясения, пережитые физиками, вот уже на протяжении десятилетий сохраняют свою первозданную остроту: новые поколения ученых испытывают, в сущности, те же самые чувства, углубляясь в проблемы современной физики и одолевая труды отцов квантовой механики и теории относительности.

Величайшим достижением человеческого гения является то, что человек может понять вещи, которые он уже не может вообразить.

Лев ЛАНДАУ

Каждая трагедия знает свои жертвы. Немалое число людей оказывается не в состоянии примириться с ненаглядностью микромира и тратит время и силы на отчаянные попытки покончить с теорией относительности и квантовой механикой, своим упрямством напоминая приверженцев идеи «вечных двигателей».

Во многом тут виновата эта несносная двойственность наших электронов и фотонов, протонов и прочих частиц. Насколько было бы проще, если бы частица и оставалась всегда частицей; так нет же, приходится еще учитывать и тот поразительный факт, что она одновременно и волна. Именно одновременно! Вот только один, кажется, наглядный пример. Вы смотрите на ночное небо. Из невообразимой дали долетел до вашего зрачка и вошел в хрусталик фотон видимого света, испущенный звездой (оставим сейчас в стороне превращения, которые могли произойти в земной атмосфере с этим фотоном). Хрусталик сумел сфокусировать этот единственный фотон на подходящую точку сетчатки, сфокусировать, то есть использовать его волновые свойства.

Трудно, кажется, представить себе частицу волной... Бывает и наоборот. Академик Л. И. Мандельштам, крупнейший специалист по теории колебаний, то есть именно по волнам, как раз волновые свойства квантов воспринимал как само собою разумеющееся, ему было несколько труднее привыкнуть, что волны обладают еще и корпускулярными свойствами. Кстати же, волновые свойства частиц, по мнению многих ученых, исследованы лучше, с большей тщательностью, в большей степени проверены опытом и наблюдениями, чем корпускулярные. А произошло это потому, что волновые свойства были сначала новостью, задавали больше загадок, к загадкам же наука всегда проявляла наибольший интерес.

Новые математические — взамен механических — модели выдерживают пока испытание временем. А ненаглядность их? Что же, надо признать, что это чрезвычайно большое неудобство. Было время, когда, по собственным словам Эйнштейна, его теорию понимали во всем мире только двенадцать человек. В каком-то смысле это была плата за ее ненаглядность. Ненаглядность не делает модель неверной, однако наглядность делает ее доступнее, понятнее. Наглядность позволяет легче работать с моделью, открывает, по-видимому, больше путей к развитию модели.

Это как с пьесой: прочтенная, она действует обычно гораздо слабее, чем увиденная на сцене. Ненаглядная модель, если позволительно такое сравнение, — пьеса, которую невозможно поставить в театре, то есть выразить в реальных сценических образах.

Впрочем, пьесы ведь и пишут, как правило, для сцены; ненаглядные же математические модели физических явлений создавались и создаются учеными с оговоркой, что их нельзя себе представить в виде чувственных образов. Что же, значит, эти пьесы никогда не увидят сцены?

Сегодня можно вместе с Гейзенбергом и немалым количеством других больших и великих физиков считать именно так. И все-таки хочется думать, что где-то в будущем сегодняшние ненаглядные модели ждет хотя бы частичная инсценировка.

Наглядность наглядности рознь. Есть еще племена на земле, на языке которых нельзя оторвать число от сущительного: числительное «два» не может существовать отдельно, не в составе комплекса «два пальца» и т. п. Пифагорейцы в отчаянии засекретили «ненаглядные» иррациональные числа. Между тем отрезок длиной $\sqrt{2}$ достаточно нагляден сегодня для любого геометра. Дальше — больше! Раньше, до конца XIX века, удовлетворяла условию наглядности лишь механическая модель. Теперь годится для этой цели и модель электромагнитная. Может быть, такой процесс освоения наглядностью все новых моделей физики будет продолжаться. Конечно, по мере того как ученые станут создавать все новые ненаглядные модели все новых явлений мира. Такое предположение выдвигал, между прочим, советский философ В. П. Бранский.

Физик, член-корреспондент АН СССР Е. Л. Фейнберг, справедливо настаивает на том, что наглядность — понятие историческое: непонятное и вовсе ненаглядное вчера сегодня становится понятным и наглядным.

...Давно ли стало наглядным представление о Земле как о шаре, о Солнце как о центре притяжения планет?

Все же не исключено, что так и останутся ненаглядными некоторые модели. Только надо оговориться, что не правы те западные философы и физики, которые видят в этом свидетельство непознаваемости мира. Ведь модели-то все-таки создаются! Создаются и сверяются со своими прототипами, уточняются и углубляются. Что же это как не познание?

Физика еще более изменится... Если эти изменения радикальны и непривычны, то, мы думаем, в будущем они будут более, а не менее радикальными, и только более странными, но не более привычными.

ми, и там будут свои собственные загадки для испытания твердости человеческого духа.

Роберт ОППЕНГЕЙМЕР *

О языке точных наук нередко говорят как о «темном» и «сухом». Темным он бывает с точки зрения тех, кому этот язык непонятен вовсе или понятен не всегда, но — сухим? Право же, самые поэтичные из историков, самые лирические из поэтов могут порой если уж не позавидовать физикам, когда те говорят о своей науке, то по крайней мере подивиться яркости образов, к которым они иногда прибегают в своих работах, и порадоваться тонкости и причудливости иных терминов.

В обиход физической науки вошли странные частицы, и *странность* стала термином, обозначающим одно из свойств элементарных частиц; кварки, кроме прочих характеристик, обрели *шарм* (или *чарм*) — *очарование*.

Ученые, как вы знаете, не просто окружили облаками виртуальных частиц частицы обычные, но нарядили их в *шубы*.

Приведу для примера из статей и книг крупных физиков кое-какие сравнения и образы, касающиеся затронутых в этой книге проблем.

Один из ученых сравнивает физическое поле (электромагнитное или любое иное) со сковородкой, причем температура каждой точки сковородки соответствует в данном случае напряженности поля.

Венгерский физик Ф. Каройхази предлагает нам представить себе, что при битье друг о друга двух тарелок появляются вместо осколков одно блюдечко и две чашки: именно так ведь при столкновении двух одинаковых элементарных частиц могут образоваться три, притом другие.

Академик Я. Б. Зельдович, приступая в журнале «Успехи физических наук» к рассказу о роли физического вакуума для космологии, вспоминает забавную историю, приключившуюся с Иваном Алексеевичем Каблуковым, тогда членом-корреспондентом Академии наук, а позже почетным академиком. Иван Алексеевич продавал газированную воду на благотворительном базаре, строго выполняя указание спрашивать: «С каким сиропом вы

* Этими словами Оппенгеймера закончил А. Салам свою нобелевскую лекцию в 1979 году.

желаете?» Когда покупатель пожелал воду без сиропа, то ученый спросил: «Без какого сиропа? Без малинового или без вишневого?» Вам ясно, наверное, что так академик Зельдович иллюстрировал положение о том, что поле в квантовой физике существует и там, где нет реальных частиц.

Герард'т Хоофт из Голландии, разбирая теории, клонящиеся к объединению взаимодействий разного типа, констатирует: «Таким образом, хотя физики все еще не могут найти единственного ключа ко всем известным замкам, по крайней мере сейчас известно, что все необходимые ключи могут быть сделаны из одной болванки».

В своей нобелевской речи 1979 года С. Вайнберг общается: «Как иногда случается с теоретиками, я «включился» в эту идею. Но, как часто бывает в любовных делах, вначале меня смущали возможные последствия».

Ш. Глэшоу озаглавил свою нобелевскую речь так: «На пути к объединенной теории — нити в гобелене». И, объясняя это название, сравнил коллективную работу физиков с трудом изготовителей гобеленов: «Гобелены создает много мастеров, работающих вместе. Из законченной работы невозможно выделить вклад отдельных работников, а пропущенные или неверные нити перекрыты другими».

Насколько эти образы соответствуют сути дела? Разумеется, у *очаровательных* частиц нет того шарма, которым по фольклорной традиции славны парижанки, а *странностями* разного рода отличаются не только частицы, в определение которых вошло прилагательное «странное». И образ четырех ключей, изготовленных из одной болванки, вряд ли поможет понять суть попыток создать единую теорию поля.

Образы, аналогии, сравнения призываются учеными (и журналистами) для того, чтобы чувства читателей или слушателей помогли их мыслям. Рассчитывать, что одни образы, аналогии, сравнения, даже примеры дадут понимание,— трудно. Тут нам придется вспомнить математика начала XIX века Больцано, настаивавшего: «Мы не считаем примеры и приложения чем-либо таким, что наносит ущерб совершенству научного изложения. Лишь одного требуем мы, однако, строго, чтобы никогда не выдвигали примеры вместо доказательств...»

В научных работах примеры соседствуют с доказательствами, в популярных же поневоле нередко замечают их.

А как часто современные физики используют такие примеры и образы для того, чтобы подчеркнуть меру нашего незнания!

Высокая теоретическая физика конца XIX века предстает перед нами гордой и уверенной, ослепительно прекрасной в своей величавой зрелости королевой, которая полагает, будто ей все известно о прошлом, настоящем и будущем, и не подозревает, что далеко не весь мир подчиняется издаваемым ею законам; квантовая физика наших дней кажется порой подростком, восторженно радующимся каждой новой находке, поражаясь собственной удачливости.

Впрочем, это опять-таки всего лишь сравнения. И за ними последует еще одно — сравнение эфира и физического вакуума.

Простой человек полагает, будто наука — способ открытия новых истин. Между тем наука умеет только отличать бесспорные заблуждения от того, что может не быть заблуждением.

Айзек АЗИМОВ

ЭФИР И ВАКУУМ: ОБЩЕЕ И РАЗНОЕ

Так чем же в конечном счете утвердившийся в науке физический вакуум отличается от «исчезнувшего» эфира? Я решил выделить «конденсированные ответы» на этот вопрос в отдельную главку, сделать нечто вроде резюме к значительной части книги. Тут поневоле придется повторить кое-что из уже сказанного, но несравненно более сжато.

Сначала — об общем, объединяющем вакуум и эфир. И то, и другое — материальная среда, подчиняющаяся физическим законам, взаимодействующая с обычным веществом и многое определяющая в его свойствах и свойствах пространства.

На этом, за вычетом некоторых относительно мелких деталей, сходство и кончается.

Теперь о главных различиях.

Эфир — прежде всего среда неподвижная, а если движущаяся (в некоторых вариантах), то по жестким

законам механики, как хорошо знакомые нам газ или жидкость; значит, при таких представлениях об эфире всегда можно найти наблюдателя, для которого он неподвижен и может поэтому быть использован как абсолютная система отсчета. Что же касается вакуума, то в принципе нельзя определить, покоимся мы относительно него или движемся.

Эфир однороден, по сути прост, всюду и всегда одинаков и неизменяем.

Вакуум — чрезвычайно сложно устроенная система с множеством подсистем, он может находиться в разных состояниях, способен изменяться при изменениях условий, в которых находится.

Частицы эфира — аналоги атомов газа, эти частицы напоминают обычные атомы, только во много раз меньше их; их обычно подчиняли тем же законам, которым подчинялись и атомы привычных веществ.

Частицы в вакууме — аналоги элементарных частиц, только существующие ничтожно малое время по сравнению со своими реальными двойниками и потому «освобожденные» от подчинения в классическом смысле закону сохранения массы-энергии.

Эфир был изобретен для объяснения явлений природы, ему придавали свойства и признаки, с помощью которых можно было понять то, что видели в действительности. По характеру это напоминало подгонку решения задачи под заранее известный из наблюдений ответ.

Свойства физического вакуума не придуманы, а выведены из свойств материи, познаваемых разными областями физической науки; само современное представление о вакууме родилось и развивалось в ходе разработки квантовой механики как естественное следствие ее основных положений.

Эксперименты, ставившие своей целью обнаружение «эфира XIX века», не привели к поставленной цели.

Ряд хорошо проведенных экспериментов безусловно подтверждает существование «вакуума виртуальных частиц».

Это, разумеется, только главные противостояния эфира и вакуума.

Как видите, различия принципиальны. И настолько велики, что даже термин «эфир», как мы с вами уже говорили, оказался изгнанным из современной квантовой механики, изгнанным и замененным, несмотря на

заступничество самого Эйнштейна. Древнегреческое искусство водить корабли — кибернетика — стало наукой XX века, открытия Резерфорда не отодвинули в прошлое слово «атом», а эфир... эфир мы теперь только слушаем, нажимая на клавиши радиоприемника. И даже пушкинские строки «Ночной зефир струит эфир» напоминают нам не об эфире Декарта и Ньютона, Френеля и Максвелла, а о самом первом Эфире, божественном «легком воздухе».

Квантовая механика сделала эйнштейновское пространство физическим вакуумом, заполнила это пространство материальной средой, не поссорившись с теорией относительности. Хотя, надо сказать, только с решением проблемы гравитации на квантовом уровне, только когда физика, во-первых, овладеет умением квантовать, дробить на порции гравитационное поле и, во-вторых, свяжет гравитационное взаимодействие с остальными тремя в единой теории поля, — только тогда, вероятно, можно будет считать, что союз квантовой физики и теории относительности принес плоды, действительно достойные этих великих союзниц.

НИЧТО И ВСЕ

Отрывок из беседы автора с Д. А. Киржницем,
заведующим сектором сверхпроводимости
Физического института имени П. Н. Лебедева АН СССР

Вопрос: Что бы вы назвали задачей завтрашнего дня для экспериментаторов, исследующих свойства вакуума?

Д. А. Киржниц: Под завтрашним днем в таких случаях понимают что-то очень далекое. По-моему, сейчас нужно говорить уже о задаче «сегодняшнего вечера». Предсказаны определенные явления, которые должны происходить с вакуумом вблизи сверхтяжелых ядер. Такие ядра могут возникнуть при ударе тяжелого иона по тяжелому ядру. Вакуум начнет «кипеть», испуская позитроны, его структура откроется нам гораздо более глубоко.

Вопрос: От каких теоретических работ, на ваш взгляд, следует ждать новых открытий, освещающих свойства вакуума?

Д. А. Киржниц: Я убежден, что сейчас над чем бы ни работал физик — над теорией твердого тела, теорией элементарных частиц, единой теорией поля, теорией атомного ядра или над космологическими проблемами, — он все равно, прямо или косвенно, занимается и исследованием свойств вакуума.

То обстоятельство, что вакуум оказался сверхпроводником, лишний раз подчеркнуло: для материи на самых разных уровнях ее структуры характерны общие черты.

Когда сверхпроводимость была открыта, ученые не сомневались, что обнаружен факт, который должен занять исключительно важное место в системе наших знаний о природе. Конечно, сразу задумались над тем, как повысить температуру, при которой сверхпроводимость

еще возможна, тут наука и техника добились немалых успехов. И все-таки поначалу многим физикам представлялось, что это принципиально значительное явление может происходить в сравнительно узкой области физических процессов.

Однако явление сверхпроводимости на деле оказалось не просто одним из многих эффектов, которыми занималась и занимается физика твердого тела; этот ярчайший физический феномен, в котором квантовые закономерности проявляются в макроскопическом масштабе, открыл собой целый ряд явлений того же характера, подвел ученых к объяснению многих вещей, на первый взгляд далеких от того, что мы называем сверхпроводимостью.

Теория сверхпроводимости, на создание которой ушло несколько десятилетий, ее важнейшие идеи оказались также применимы в физике твердого тела, в теории атомного ядра и в теории элементарных частиц.

В современной физике меня больше всего впечатляет то обстоятельство, что наш мир оказался построенным, в общем, по «типовому» принципу, если и не из типовых деталей, то уж по типовым проектам. Одни и те же явления играют принципиально важную и сходную роль на разных уровнях строения материи.

А значит, различные разделы физики, описывающие этот «типовой» мир, решительно сближаются, и такое сближение должно и будет продолжаться. Их сотрудничество знаменует приближение к созданию единой физической картины мира...

Вопрос: Некоторые физики, притом работающие отнюдь не в области сверхпроводимости или в теории элементарных частиц, полагают, что в ближайшее время именно исследования вакуума дадут взрывное расширение наших знаний о природе.

Д. А. Киржниц: Возможно. Но хоть сегодня мы с вами и говорим именно о вакууме, он все-таки лишь одно из мест приложения новых физических представлений, в частности о роли сверхпроводимости в природе. Сотрудничество разных областей физики дало новые силы науке. В шестидесятые годы квантовая теория поля переживала кризис. Крупный советский физик назвал ее главный метод трупом, который следует похоронить, хоть и со всеми почестями, которых он заслуживает. Теперь эта теория решительно продвинулась вперед. То,

что происходит сегодня в ней и в теории элементарных частиц, можно назвать революцией. А поскольку физика все в большей степени становится единой, то революция, значит, должна охватить всю физику. Роль же вакуума для физики преувеличить нельзя.

Вопрос: Так, может быть, ваши соседи по науке, как и полагается соседям по квартире, лучше ощущают, что происходит в чужой семье, чем в своей собственной?

Д. А. Киржниц: Может быть. Но важнее то, что в новой, нынешней физике нет просто соседей — все ученые, чем бы они ни занимались, оказываются родственниками.

ЗА «МОРЕМ ДИРАКА», ИЛИ «ВСЕ ЕСТЬ НИЧТО»?

Мы сейчас делим — достаточно грубо — Вселенную на три уровня: мега-, макро- и микромир. У микромира есть свои глубины, которые пока что не поддаются исследованию в опыте; только мысль способна проникать далеко вглубь за пределы 10^{-15} сантиметра. Между тем многие свойства материи, возможно, определяются характером событий, происходящих в ячейках пространства, имеющих значительно меньшие размеры. Тут выдвинуто уже немало интересных идей, которые, однако, сейчас чрезвычайно сложно описывать даже математически, не говоря уже о подтверждении их на опыте. Так что сейчас мы с вами вступаем в ту область физики, где приходится говорить скорее о догадках, смелых, иногда даже отчаянно смелых, но по большей части очень далеких от перевода в ранг теорий.

Американский физик Джон Арчибальд Уилер — безусловно, крупная величина в науке. С его именем, например, как и с именами датчанина Нильса Бора и советского ученого Якова Френкеля, связаны создание и разработка капельной (гидродинамической) модели атомного ядра. В последние десятилетия Уилер высказал несколько идей, с которыми большинство физиков не слишком соглашается, признавая их тем не менее интересными. Кстати, если бы жизнеспособность гипотез зависела от литературного стиля их изложения, то, пожалуй, среди нынешних западных физиков Уилера следовало бы признать величайшим открывателем новых истин.

Много лет посвятил Уилер борьбе за то, чтобы все мировое пространство было признано... пустым. За доказательство того, что, строго говоря, в мире ничего нет, не было и не будет, кроме абсолютного вакуума. Что физика мира целиком определяется его геометрией, что физическое содержание Вселенной в каком-то смысле определено геометрической формой пространства.

Эйнштейн в свое время связал в общей теории относительности тяготение с геометрией пространства. Уилер полагает, что надеждой Эйнштейна было «понять материю как форму проявления пустого искривленного пространства-времени. Его давняя мечта, так и не осуществленная им на протяжении всей его жизни и к осуществлению которой не приблизились еще и сегодня, может быть выражена древним изречением: «Все есть ничто».

Созданная воображением Уилера картина геометрической «подосновы мира» будоражит воображение и читателей его работ.

Для Уилера геометрия есть строительный материал природы. И, скажем, любая элементарная частица, по Уилеру, — «не посторонний физический объект, движущийся в пространстве, а возбужденное состояние самой геометрии, столь же несущественное для физики вакуума, как облако несущественно для физики атмосферы».

Вот так! Впрочем, это, пожалуй, сказано в состоянии страстного увлечения. Потому что физику «несущественных» элементарных частиц Уилер все-таки намерен не игнорировать, а объяснять. Объяснять тем, как устроено само пространство, то есть его чисто геометрической структурой.

Чтобы хоть как-то понять, на что опирается Уилер, надо уйти «в глубь» материи — глубже, чем к атому, атомному ядру, элементарной частице. По Уилеру, масштабом измерения становится величина порядка 10^{-33} сантиметра, именно из ячеек такого размера сложено пространство на самом глубоком своем уровне.

Откуда взялась именно эта величина? Еще Макс Планк, величайшим достижением которого было открытие «кванта действия», минимально возможной в нашем мире порции энергии, ввел гипотетическое понятие «фундаментальной длины». Меньшие, чем эта величина, расстояния, как предполагается, просто невозможны в нашем мире, как нет в нем и не может быть порций энер-

гии меньших, чем кванты действия. Надо сказать, что для квантовой механики очень характерно стремление подчинить законам, управляющим элементарными частицами, пространство и время.

Далеко еще та пора, когда гипотезу о фундаментальной длине можно будет проверить. Но это не должно и не может закрыть дорогу теории. Стоит напомнить: некоторые основные законы квантовой механики были открыты в пору, когда в эксперименте была строго и точно обнаружена только одна частица — электрон.

Мысленный эксперимент часто опережает реальный, хоть и нуждается в конечном счете в подтверждении действительным опытом.

Итак, область пространства, для которой характерны расстояния в 10^{-33} сантиметра, по Уилеру, — суперпространство. Как оно выглядит? Вакуумной пеной назвал его сам Уилер. Нечто пузырящееся, непрерывно меняющее формы, изменяющееся, колеблющееся — эти изменения Уилер именуется флуктуациями, то есть случайными изменениями самой метрики пространства. «В субмикроскопических масштабах геометрия «резонирует» между различными конфигурациями». Так пишет Уилер.

По его мнению, к такому выводу неизбежно приводит последовательно проведенный квантовый принцип.

Тут мы попадаем в мир, уменьшенный и по сравнению с «привычным» микромиром порядков на двадцать. Считается ведь, что диаметр протона примерно 10^{-13} сантиметра.

Диаметр Земли — 12 с лишним тысяч километров; запишем его как 10^9 сантиметров (для простоты здесь и далее пожертвуем точностью, но в случае элементарных частиц ведь точность еще намного меньше). Земля при таком подходе оказывается больше протона «по длине» в 10^{22} раза, протон же в 10^{20} раз больше фундаментальной длины, измерителя масштабов в уилеровском вакууме.

С высоты человеческого роста (примем его за $2 \cdot 10^2$ сантиметров, хотя, конечно, человек двухметрового роста — это уже гигант), который всего в 10^7 раз меньше диаметра нашей планеты, не увидишь распределения океанов и материков на Земле. Они же от этого не перестают существовать. Так надо ли удивляться, что в суперпространстве не заметны еще более несоизмеримые с его минимальными ячейками виртуальные частицы?

Идеи Уилера для большинства физиков, повторяю, недостаточно убедительны. Образы же и аналогии, которыми он пользуется, насыщены эмоциональной, я бы даже сказал, художественной силой. Он сравнивает, например; суперпространство с океаном. С высотного самолета волнующаяся поверхность может показаться гладкой и ровной. А человек в лодке, подбрасываемой и захлестываемой волнами, видит, что плывет отнюдь не по ровной морской глади. Если и в таком положении он найдет в себе мужество взглянуть в пенящуюся и бурлящую воду, то постоянно меняющаяся, сложная картина предстанет перед ним в самых мельчайших деталях и подробностях.

Изменяющаяся геометрия суперпространства сопоставима с поверхностью реального океана, наблюдаемой нами с различных расстояний, с разных уровней.

Жаль вот только, что художественный образ, какой бы убедительностью он ни обладал, в науке — не доказательство... А других доказательств пока явно не хватает. Но Уилер подкрепляет свою веру в суперпространство одним из тех афоризмов, которые он большой мастер создавать. «Сущность физики, скорее, заключена в словах: «Все, что может произойти,— происходит». И все-таки вспоминает, когда надо, что выдвинул лишь гипотезу, недаром же у него словам «...только физика области 10^{-33} см поможет нам понять физику элементарных частиц» предшествует осторожное: «Не исключено, что...»

Надо помнить еще, что даже если картина вакуума, рисуемая Уилером, окажется верной, использованный им образ волнующегося океана не следует все же воспринимать слишком буквально. Элементарная частица в вакууме, даже в «современном» вакууме виртуальных частиц, решительно не схожа с лодкой и сидящим в ней мужественным наблюдателем. Волны могут сбить лодку с курса и даже перевернуть ее, частица же, движущаяся в вакууме, направления не меняет. Фотоны, идущие к Земле от далеких звезд миллионы и миллиарды лет, с курса не сбиваются...

Человек должен верить, что непонятное можно понять, иначе он не станет размышлять о нем.

Иоганн Вольфганг ГЕТЕ

Итак, по Уилеру, геометрические в своей основе законы, управляющие океаном суперпространства, задают привычному нам микромиру законы, которым подчиняются элементарные частицы и само «море Дирака».

Свою гипотезу о строении вакуума на сверхглубоком уровне выдвинул советский ученый доктор физико-математических наук К. П. Станюкович. В некоторых пунктах она явно сближается с гипотезой Уилера.

У Станюковича в центре внимания тоже область расстояний в 10^{-33} сантиметра. Но ее заполняет не геометрическая вакуумная пена, а особые частицы, возможность существования которых выводится на основе мировых констант. Их размеры как раз порядка 10^{-33} сантиметра, масса 10^{-5} грамма; так ничтожен их объем, что плотность частиц — при такой-то массе — чудовищна: 10^{95} г/см. (Предположение о существовании таких частиц было выдвинуто независимо от К. П. Станюковича М. А. Марковым. Марков назвал их максимонами за то, что они должны быть, по его мнению, среди элементарных частиц самыми большими по массе. Станюкович окрестил их планкеонами в честь Макса Планка.)

И у Станюковича флуктуации вакуума, только носящие прежде всего физический, а не чисто геометрический характер, играют чрезвычайно важную роль во Вселенной.

Вот, например, как рассказывается о самом начале жизни Метагалактики по космической модели Станюковича в научно-популярной книге «Сила, что движет мирами», написанной им совместно с М. Васильевым и Н. Климановичем: «Вообразите океан, а в нем множество пузырьков воздуха. Только в океане этом нет воды, это океан пустоты, в котором отсутствует и вещество в традиционном смысле...

То есть океан наш — это абсолютная пустота, гравитационный вакуум. Каждый пузырек в нем — планкеон».

А дальше авторы книги пишут: «Развивая идеи Уилера, можно предложить совершенно новую точку зрения на строение элементарных частиц... Если считать, что размер планкеона 10^{-33} см, то в одном кубическом сантиметре содержится приблизительно 10^{99} планкеонов, во Вселенной 10^{180} ... Размер элементарной частицы 10^{-13} см, объем ее 10^{-39} см³, следовательно, в одной элементарной частице содержится... 10^{60} планкеонов. Каждый из них,

«раскрываясь», высвечивает около 10^{-80} своей энергии, что и определяет энергию (массу) одной частицы».

И это, разумеется, тоже только гипотеза. Посмотрите, как с разных сторон подступают ученые в своих предположениях к вакууму. Они осторожно (а иногда и не очень!) пробуют разные подходы к выработке нового представления о мире, опираясь на идею особой и чрезвычайной роли в нем физического вакуума.

Какой из этих подходов окажется верным — гадать бессмысленно. Вероятно, многие предварительные мазки будут стерты с этой картины развитием науки, другие останутся и сольются когда-нибудь с тысячами иных, пока еще не сделанных, в единое целое.

Такое единое целое тоже не будет полным. Путь к абсолютной истине бесконечно долог... И это, между прочим, гарантия сохранения Науки. Потому что, как заметил Е. Вигнер, «...если бы мы были полностью осведомлены о всех событиях в мире, повсюду и во все времена, то не было бы никакой пользы в законах физики — и фактически любой науки».

Теперь стоит привести по крайней мере один конкретный пример дальнейшего развития идей, связанных с представлением о фундаментальной длине и особых свойствах пространства «около нее». «Гравитационный вакуум» — так именуют вакуум на столь глубоком «уровне подробности» В. Г. Кречет и В. Н. Пономарев в статье, опубликованной в сборнике «Актуальные проблемы теоретической физики». А сама статья называется так: «Проблемы гравитационного коллапса, нейтринной динамики и вакуумной энергетики».

Сразу надо сказать, что, несмотря на использование в заглавии термина «вакуумная энергетика», речь идет не о том, чтобы в ближайшее время поставить вакуум на службу техническому прогрессу. Кречет и Пономарев разбирают возможности, таящиеся в той самой вакуумной пене, о которой говорил Дж. Уилер. Эта пена — она же гравитационный вакуум, — по Кречету и Пономареву, представляет собой многообразие планкенов Станюковича.

Флуктуации вакуума, утверждает в статье, таят грандиозную энергию. Авторы напоминают, что здесь в формулах, используемых при подсчете энергии, в знаменателе должны попасть размеры ячеек вакуума, где разворачиваются флуктуации, да притом еще размеры

эти стоят в знаменателе в четвертой степени! Между тем размах колебаний гравитационного вакуума составляет невообразимо малую долю сантиметра. Дробь при возведении в степень резко уменьшается, а разделить любое число на дробь — значит, как известно, умножить это число на ее знаменатель и разделить на числитель.

Поскольку тут знаменатель выражает фантастически громадную величину, расчет дает поразительный результат: энергия вакуумных флуктуаций — 10^{80} граммов в кубическом сантиметре!

Все познается в сравнении, гласит старая истина. Сравним и мы эту величину с другой — с той, что характеризует плотность энергии реально существующих атомных ядер (10^{14} граммов в кубическом сантиметре). Если же еще учесть, что во всей Метагалактике, единственно известной нам части Вселенной, имеется всего лишь примерно 10^{80} частиц, то названная Кречетом и Пономаревым величина кажется просто необъятной.

Весь этот поистине превосходящий всякое воображение концентрат энергии находится в «связанном состоянии», не изливается наружу, а целиком уходит на обеспечение гравитационной связи между соседними флуктуациями. На поддержание компании с себе подобными в нашем мире приходится тратить энергию и небесным телам и молекулам и даже тем странным образованиям, что процветают глубоко под «морем Дирака».

Структурные единицы вакуума так прочно держат друг друга «за руки», что связывают себя «по рукам и ногам».

Но эти «руки» могут разжаться, энергия, по мнению авторов статьи, может вырваться из вакуума при условии, что сторонняя сила вмешивается во «внутренние дела вакуума». Огромная это должна быть сила; по подсчетам Кречета и Пономарева, для такого взрыва плотность энергии, бьющей по вакууму, должна быть в какой-то степени сравнимой с плотностью энергии в самом вакууме,

Наш язык мудр: между выражениями «я убежден» и «я убедился» — большая разница.

Карел ЧАПЕК

Где он, процесс, способный породить эту почти невероятную мощь? Астрофизика его знает и называет гравитационным коллапсом. Коллапсирующая, схлопы-

вающаяся внутрь себя звезда излучает столько энергии, что и вакуум может в ответ высвободить свою энергию. Что при этом должно произойти? Вакуумные флуктуации на гравитационном уровне, сначала увеличив свой размах, могут затем, постепенно затухая, вернуться к первоначальному уровню, и звезда при этом не станет даже «черной дырой», а прямо-таки растворится, как об этом писал Дж. Уилер, в вакуумной пене, исчезнет в ней.

Но флуктуации могут и накапливать энергию, переходя в результате в реальные частицы, в наблюдаемую материю — наблюдаемую в виде грандиозных космических взрывов.

Есть в небесных коллекциях астрофизиков такие экспонаты, космические источники энергии, мощь которых нелегко (хотя, по мнению многих ученых, все-таки можно.— *Р. П.*) объяснить в рамках известных нам пока что процессов. Именно это обстоятельство вызвало к жизни гипотезу академика В. А. Амбарцумяна о сверхплотном дозвездном веществе, обеспечивающем энергией явления такого рода. По мнению Кречета и Пономарева, выход энергии вакуума может вполне объяснить самые грандиозные космические взрывы.

Впрочем, таким взрывом дело, по их представлениям, не завершается. Вакуум, по которому один раз распространилось чудовищное возмущение, хранит память об этом, структура вакуума несет след происшедшего. И если поблизости (в космических масштабах) произойдет еще один коллапс еще одной звезды, новое вакуумное возмущение наиболее вероятно пойдет по старому следу — «кротовой норе» в терминологии Дж. Уилера. «Кротовая нора» становится постоянно действующим каналом передачи энергии между разными участками космического пространства, она связывает Галактику, передатчик энергии, и, скажем, квазар, получающий энергию. Квазар в результате растет, теряет свою целостность, разбивается на отдельные звезды и в конце концов обращается ни более ни менее как в молодую галактику с активным ядром, бурно излучающим энергию.

С течением времени уже эта галактика «в лице» собственных коллапсирующих звезд может становиться источником энергии для новых космических центров могучего излучения.

Галактики размножаются на питательной почве вакуума...

Рождающееся за счет энергии вакуума вещество все растет в количестве, общая масса вещества в мире возрастает и возрастает, все сильнее становится всепроникающее гравитационное поле. Расширение Метагалактики все в большей степени сдерживается этим полем; галактики уходят друг от друга все с меньшей скоростью, пока сила гравитации, решительно возобладав над инерцией разлета, не заставит расширение смениться сжатием. Сжатие же приведет в конечном счете к гравитационному коллапсу Метагалактики, коллапсу, энергия которого вновь вызовет возмущение вакуума, разбудит его силы, и начнется новый цикл событий. Любопытный вариант пульсирующего, то расширяющегося, то сжимающегося мира предложили двое ученых.

Что же, рассказу об этом предположении, связывающем с глубинной энергией вакуума и общий ход эволюции Вселенной и «частности» вроде коллапса звезд, самое место в книге про «Нечто по имени Ничто». Только будем помнить, как и авторы гипотезы, что от предположений до доказательства тут очень и очень далеко.

Кречет и Пономарев пытаются нащупать хотя бы возможность наблюдений, которые могли бы подтвердить справедливость их идей или похоронить эти идеи по первому разряду. Потому в заголовок их статьи попала — между гравитационным коллапсом и вакуумной энергетикой — нейтринная динамика. Авторы надеются, что именно всепроникающие нейтрино в силах дать нам информацию о самых древних, самых экзотических событиях во Вселенной. Дать эту информацию нейтрино смогут, только если мы сумеем ее взять. Научиться просто ловить нейтрино, как мы это уже делаем, маловато; предстоит найти способы больше узнавать о нейтрино, когда они уже будут пойманы.

Подчеркну еще раз: в главе «За морем Дирака» я говорю о предположениях и догадках, пусть порой весьма интересных, а не о чем-то, что твердо доказано. Сама идея, например, о грандиозной энергии, содержащейся в вакууме, многим физикам кажется не только недоказуемой сегодня, но и прямо неверной. Так, Д. А. Киржниц говорит: «Вселенная выглядела бы иначе, будь вакуум резервуаром огромной (не говоря уж — бесконеч-

ной) энергии... Академик Я. Б. Зельдович подчеркивает, что если бы энергия вакуума была большой, характер расширения Метагалактики был бы совсем иным, нежели это наблюдается на самом деле. А значит, допустимы лишь ничтожно малые значения плотности этой энергии».

ХОЛСТ И КРАСКИ

Вряд ли физическая Вселенная сколько-нибудь серьезно изменилась за последние несколько тысяч лет. Между тем насколько иной стала она для человечества даже всего лишь за последние десятилетия!

Скажем точнее: изменилась картина мира.

Человек всегда — с тех пор как стал действительно человеком — как-то представлял себе окружающий мир.

Плоский круг посреди океана — земля. А над ней семь хрустальных небес с прикрепленными к ним звездами. Под ней — три кита, «на тех китах земля стоит... Один кит потронется — земля всколыхнется, а все-то вместе — в тартарары пойдем» (из записей старого русского этнографа).

Или: дерево, корни которого в нижнем, подземном царстве, ветви — в небесах, а ствол поддерживает землю.

Сколько таких мифов пришло к нам из древности! Человеку издавна было нужно не только знать свой дом, улицу, селение, но и видеть мысленным взором то, что мы зовем вместительнейшим словом «Вселенная».

Увы, слишком мало знали люди тогда о мире и себе, чтобы нарисованные их воображением картины хоть сколько-нибудь походили на оригинал: ведь рисовали эти картины мифология и религия. И все-таки даже сквозь «богом вдохновленные» тексты иногда проглядывает настойчиво ищущая мысль человека, который еще не умеет обойтись без бога, однако и бога ухитряется снабдить материалом для строительства, отыскать закономерности в божьем творении. Из той части Ветхого завета, что зовется «Премудрость Соломонова», мы узнаем, что господь сотворил мир из «необразного вещества», причем все расположил «мерой, числом и весом».

Пора чудес прошла, и нам
Подыскивать приходится причины
Всему, что совершается на свете.

Вильям ШЕКСПИР

Когда — тысячи лет назад еще — под ударами развивающегося логического мышления начало расшатываться мировое дерево, когда начали расплываться киты и первые трещины прошли по хрустальным сводам небес, задача дать человеку представление о мире, нарисовать ему картину мира легла на начинающуюся науку. Первыми взялись за дело философы античности, западной и восточной. Они увидели в мироздании черты, которые оно сохранило для нас и сегодня, после многих веков развития человеческой мысли; они уяснили себе изменчивость мира и борьбу в нем противоположных начал, догадались о существовании мельчайших частиц вещества, атомов. И все же из этих гениальных догадок о самых общих чертах Вселенной нельзя было вывести достоверное, стройное, логически завершенное представление об ее глубинном устройстве.

Древние философы — воспользуясь образом, подсказываемым самими словами «картина мира», — всего лишь подготовили холст, на котором научную картину мира следовало потом написать; сделали самые первые наброски на этом холсте. Когда — потом? Спустя тысячелетия. Полную и широкую физическую картину мира начало рисовать естествознание нового времени. В XVII веке благодаря Галилею, Декарту, а затем Ньютону (и десяткам других ученых) стала настоящей наука физика, вооруженная математикой. А поскольку наиболее передовой частью физики была механика, то картина мира, построенная тогдашней физикой и философией, оказалась механистической.

Система научных представлений о мире становится все полнее с каждым новым естественнонаучным открытием. Картина мира — все гармоничней и совершенней. А потом — потом выясняется, что не всем новым открытиям есть место в ее рамках, что не все краски положены правильно, что природа мироздания другая, не та, какой она представлялась, кажется, так недавно.

На смену одной картине приходит другая. И называется это иногда научной революцией.

Каждая картина мира сохраняет от своих предшественниц лучшее, важнейшее, отвечающее объективному устройству Вселенной.

Макс Планк, человек, начавший своими трудами квантовую революцию в физике, отмечал в начале XX века: «...уже современная картина мира... содержит в себе некоторые черты, которых больше не изгладит никакая революция в природе, ни в мире человеческой мысли».

Планк считает, что «создание единой и неизменной картины мира — цель, к которой стремится естествознание».

Пока что, однако, история демонстрирует нам именно изменение «чертежей мироздания», хотя на протяжении последних трех или четырех столетий не раз возникала у очень многих ученых иллюзия, что уже открытое образует в совокупности истину в последней инстанции, что даны или вот-вот будут даны последние ответы на последние вопросы...

В XVIII и XIX веках на фундаменте законов движения и тяготения Ньютона возникло грандиозное здание классической механики. Астрономам кружила головы очевидная власть этих законов над звездами и планетами. Кометы, пугавшие воображение суеверных правителей, как и суеверных нищих, появлялись теперь в предсказанные учеными дни, сама Земля «изменила» свою форму, оказалась сплюсненной у полюсов, разрасталась семья планет...

Как тут было не возгордиться механикам? И для них все, абсолютно все в мире стало объясняться движением тел и тяготением между ними. Француз Лаплас, получивший от Наполеона титул графа, а при Людовике XVIII ставший маркизом, благоговейно называет Ньютонов закон всемирного тяготения просто: Законом природы. Он управляет всем в мире; связывает между собой не только звезды и планеты, но и молекулы. Поверхностное натяжение жидкостей, химическое взаимодействие веществ, сама жизнь оказывались подчинены в рамках этой картины мира законам механики (в Ньютонском понимании). Разве что в формулу Ньютона тут иногда вносятся кое-какие изменения.

И когда великий социалист-утопист Фурье создавал свое замечательное и невозможное для осуществления учение, он называл его обосновывающую часть теорией

всеобщего притяжения страстей и полагал, что она опирается, как на фундамент, на закон Ньютона.

Известный ученый XX века Джон Бернал отмечает даже, что, «как это ни парадоксально... наиболее непосредственное влияние идеи Ньютона оказали в области экономики и политики».

Да, действительно удачная получилась картина мира у Ньютона и его последователей. Ведь она позволяла очень наглядно представить себе мироздание в целом и любую часть его, любое явление, процесс.

Вот самая поразительная закономерность эволюции естествознания: чем законченнее и совершеннее кажется теория, тем больше появляется оснований считать ее обреченной на пересмотр — либо целиком, либо частично. Законченность не оставляет места для включения в рамки господствующей теории новых открытий, а ведь их продолжают делать. Чем больше нового узнавали ученые XIX века о тепле и свете, электричестве, химических реакциях и многом другом, тем труднее было к вновь открытому приложить законы механики, тем сложнее оказывалось построить для этого нового механическую модель.

Мы уже видели, как механические модели спасовали, когда понадобилось с их помощью изобразить эфир.

Один из сокрушительных ударов по механической картине мира нанес Генрих Герц, открывший в 1888 году электромагнитные волны. Герц решительно освободил электромагнитное поле (точнее, понятие о нем) от всех следов прежних механических представлений. И не только в этой области классическую механику заставили отступить. Действие Ньютонова закона было ограничено той силой, для которой он и был первоначально сформулирован, — гравитацией. В конце XIX — начале XX века электромагнитная (иногда ее называют электродинамической) картина мира сменяет механическую, впрочем, сохранив те ее «линии» и «фигуры», которые оказались незаменимыми.

Новая картина мира была гораздо сложнее старой. Прежде материя существовала в виде частиц, характеризующихся своими массами, теперь у частиц появилась вторая важнейшая характеристика — электрический заряд. Частицы передвигаются отныне не в абсолютной пустоте или наделенном сложным набором свойств эфире, но в поле, второй форме существования материи, а

движение оказалось представлено еще и распространением электромагнитных волн.

Законы электромагнетизма заняли в представлениях многих физиков то место, которое во времена Лапласа принадлежало закону Ньютона: их стали воспринимать как всеобщие, главные во всех областях и на всех уровнях строения материи. Из них пытались выводить законы механики, и появилось несколько теорий, согласно которым в основе гравитации тоже лежали электромагнитные свойства вещества.

Грандиозный труд нескольких крупных ученых, увенчанный появлением теории относительности Эйнштейна, связал пространство и время между собой и с материей. Теория относительности стала действительно увенчанием именно электромагнитной картины мира, недаром одним из ее постулатов было положение об ограниченности и абсолютности скорости света (точнее, всех электромагнитных волн), а первая работа Эйнштейна по специальной теории относительности носит название «К электродинамике движущихся тел». Не случайно входит скорость электромагнитных, световых волн и в знаменитую формулу $E=mc^2$.

Точности ради надо добавить, что широкое признание к электродинамической картине мира пришло лишь в конце второго — начале третьего десятилетия нашего века. Именно тогда наконец были введены для студентов-физиков курсы, обязательно включавшие теорию Максвелла. Через шестьдесят лет после создания ее великим англичанином! Очевидно, очень долгое время после смены физической картины мира значительная часть ученых эту смену признавать не спешила.

Решительная победа, в конце концов одержанная электродинамикой, была, как водится в науке, предвестницей скорого и более решительного поражения, потому что с начала XX века появились новые краски для новой картины мира. Называют ее обычно квантово-полевой. Иногда просто квантовой или просто полевой. Сохранив идею о реальности поля, эта картина свела два прежних вида материи (частицы и поле) в один бесконечно многообразный и наделила каждую частицу волновыми свойствами, а каждую волну — свойствами частицы, представив поле как совокупность таких частиц-волн.

Какое же будущее ждет современную физическую картину мира?

Советский ученый М. В. Мостепаненко в своей книге о физической картине мира, вышедшей в 1969 году, сделал такой прогноз: в ближайшие два-три десятилетия будут развиваться квантово-полевые теории, которые в конце концов охватят все известные нам частицы и их свойства. Это будет означать завершение квантово-полевой картины мира, а значит, и начало конца ее, начало новой картины мира.

Прошла уже половина срока, отведенного Мостепаненкой на этот процесс.

И ведь правда: последние полтора десятка лет действительно были временем бурного создания новых моделей элементарных частиц, стремительного сближения на общей основе всех сил этого мира (только вот гравитация все-таки — даже в гипотезах — очень трудно поддается объединению с тремя другими взаимодействиями; может быть, через столетия об этих попытках будут говорить с таким же чуть снисходительным удивлением, с каким пишут сейчас об объяснении той же гравитации век назад через электромагнетизм). Словом, успехи тут налицо. За оставшиеся годы из двух-трех десятилетий, обещанных М. В. Мостепаненкой, наверняка будет сделано очень многое. Так что не исключено: ученого довольно скоро можно будет поздравить с удачным прогнозом.

Какая же картина мира сменит теперешнюю? И тут придется вспомнить другое предвидение, другой прогноз, сделанный без малого двадцать лет назад.

ВСЕ ЕСТЬ ВАКУУМ?

С 1966 года у нас в стране выходят «Эйнштейновские сборники», ежегодники, в которых публикуются статьи по важнейшим проблемам, связанным с теорией относительности. И не только с ней.

Первый сборник заключала статья академика Эстонской ССР Г. И. Наана.

Для начала ученый сделал с мягкой, ироничной несколько замечаний по поводу того, возможны ли вообще удачные прогнозы будущих открытий. Он ссылаясь на печальный опыт, демонстрирующий, как заметил американский астрофизик Фримен Дайсон, «неспособность даже лучших из нас видеть немного дальше кончика соб-

ственного носа». Но, «несмотря и вопреки», Г. И. Наан все-таки решился сделать несколько предсказаний, касающихся будущих достижений физики.

Особенно интересен для нас здесь разбор того, как меняются — и будут меняться! — представления науки о мире как о физическом целом.

Наан пишет: «Результатом развития физики является смена картин мира. Механическую картину мира сменила электромагнитная. На смену последней пришла картина, не имеющая общепризнанного названия. Ее называют, например, релятивистской квантовой картиной. На наш взгляд, лучше называть эту современную нам картину полевой, ибо в основе ее лежит представление о том, что все есть поле. Какая картина ее сменит — сказать трудно. Автору этих строк кажется очень правдоподобным, что это будет вакуумная картина мира».

Автору популярной книги о развитии идеи пустоты было, как вы понимаете, очень приятно перечитать это высказывание совсем недавно, уже через полтора десятка лет после выхода сборника со статьей Г. И. Наана.

Любое предсказание — во всяком случае в физике — делается и для того, чтобы его можно было проверить. Так насколько же оправдали минувшие годы предположения, опубликованные в 1966 году?

Картина мира еще не успела радикально измениться: она для физиков по-прежнему в основном полевая и релятивистская квантовая, построенная на основе выводов теории относительности и квантовой теории поля. В широко распространенных среди неспециалистов представлениях о физической реальности причудливо сочетаются элементы, пришедшие из механической, электромагнитной и полевой картин мира.

Это совсем не значит, впрочем, что предсказание не сбылось. Скорее можно сказать, что оно сбывается. Потому что все эти годы медленно, постепенно, неуклонно повышалось значение вакуума для объяснения картины мира, пусть она в целом и оставалась пока что полевой.

Торжество научной классификации элементарных частиц привело к построению первых удачных теорий и гипотез об объединении сил природы, о том, что между ними всеми общего и с чем связаны отличия. Вы уже знаете, что победу здесь сулит подход «со стороны вакуума».

Вот одно немаловажное конкретное свидетельство в пользу версии Г. И. Наана. Не так давно в нашей стране вышла в переводе с английского книга Т. Мизнера, К. Торна и Дж. Уилера «Гравитация». Три тома. Блестящая работа, сводящая вместе теорию и опыт, восторженно повествующая, в частности, о тончайших, буквально прецизионных экспериментах, которыми были проверены — и подтверждены — некоторые малозаметные эффекты, следующие из общей теории относительности. Но как ни велико естественное увлечение авторов книги гравитацией, о которой они в основном и пишут, а все-таки в третьем томе этого большого труда на 355-й странице напечатано буквально следующее: «Ни одно из замечательных достижений физики после второй мировой войны не является столь впечатляющим, как предсказание и подтверждение влияний вакуумных флуктуаций электромагнитного поля на движение электрона в атоме водорода».

Так высоко ставит современная наука это открытие, о котором мы с вами уже говорили, именующееся в справочниках (напомню) лэмбовским сдвигом уровней в атоме.

Обнаружено это явление было давно, а предсказано еще раньше, и значение вакуумных флуктуаций, причем отнюдь не только электромагнитного поля, осознается все глубже с каждым годом.

Все больше статей кончается примерно так: «Таким образом, учет квантовых эффектов и, в частности, эффекта рождения пар в процессах, связанных с сильными гравитационными полями, необходим для решения целого ряда проблем астрофизики и космологии»; «Таким образом, решить проблему максимального числа нуклонов в атомном ядре нельзя без учета вакуумных эффектов»; «Таким образом...» А недавняя статья Я. Б. Зельдовича в «Успехах физических наук» называется: «Теория вакуума, быть может, решает загадку космологии».

Картина мира стала электромагнитной, когда, в частности, была осознана роль электромагнитных сил в строении атома и молекул.

Полевая — она же релятивистская квантовая — картина мира восторжествовала с проникновением науки в атомное ядро, с открытием законов, управляющих элементарными частицами, с осознанием связи пространства и тяготения, характера физических полей.

По мере же нашего изучения вакуума он явно играет все большую роль в полевой картине мира...

Триста без малого лет назад «стремление» железа к магниту пробовали объяснить законом всемирного тяготения; лет сто назад, наоборот, под закон Ньютона попытались подвести основу, взятую из теории электромагнетизма. А сейчас многие физики, как вы знаете, видят в гравитации и в электромагнетизме, как и в других природных силах, результат идущих в вакууме процессов, следствие свойств, которыми вакуум обладает.

Между тем на первый взгляд не так уж много четко наблюдаемых эффектов, вызванных влиянием виртуальных частиц, может пока предложить вниманию теоретиков опытная физика. С некоторыми из этих эффектов мы уже познакомились. Повторим: лэмбовский сдвиг электрона, эффект Казимира (взаимное притяжение двух пластинок в вакууме), аномальный заряд электрона, ну еще кое-что. Не маловато ли этого для тех грандиозных изменений в наших представлениях не только о микромире, но и о мире в целом, для того, чтобы другая становилась сама физическая картина мира? Фактов — малая толика, а какое здание над ними возводят!.. Но вспомним осторожности ради слова Блохинцева о том, что фактов всегда достаточно, не хватает только воображения, чтобы их осмыслить и объединить...

Новая теория может показаться поначалу чем-то вроде перевернутой пирамиды. Ведь теория часто бывает построена — в юности — всего на одном, двух, трех фактах, выпадающих из той массы физических событий, которая прекрасно объясняется по старинке.

Некоторый — совершенно мизерный — непорядок в движении Меркурия приводит в неистовство астрономов начала нашего века. Это был один-единственный достаточно убедительный факт, противоречащий закону Ньютона. Этот же факт был затем несколько лет единственным, подтверждавшим общую теорию относительности. На проверку ее предсказаний, касавшихся искривления луча звезды вблизи Солнца и некоторых других наблюдаемых эффектов, потребовалось время.

Но ведь это только кажется, что фактов в пользу молодой теории мало. На нее же работают и все те факты, которые прежде объясняла старая теория! Рыцарь на средневековом турнире, одержав победу, обычно забирал у побежденного коня и доспехи. Молодая гипотеза

уже в бой вступает, можно сказать, на чужом коне — на тех фактах, на которых держалась старая теория. И только «впридачу» объясняет то, что было непонятным прежде. Ни гроша не дадут ученые за теоретические положения, которые прекрасно объясняют последние экспериментальные открытия, но противоречат давно известным фактам.

Надо добавить, что новая теория обычно довольно быстро начинает объяснять и такие давно известные факты, на загадочность которых для теорий старых почему-то не обращали внимания. Вот простой пример. Если сыпать поваренную соль в огонь, пламя окрасится в желтый цвет — так проявятся особенности спектра элемента натрия в составе соли. Спектральный анализ как метод исследования был открыт в 1859 году, объяснила же характер спектров только квантовая механика, появившаяся примерно через полвека. Причем появилась она совсем не в связи с проблемами спектрального анализа.

Теория относительности выиграла соревнование с теориями-соперницами потому, что в науке не то важно, сколько экспериментов или наблюдений подтверждают теорию, а то, сколько их противоречат ей. Тут один строптивец справится не то что с десятком или сотней — с миллионами примерных, услужливых фактов. Даже самое маленькое облачко на горизонте может сулить свирепую грозу.

Теории вакуума очень далеко пока до совершенства. И может быть, поэтому нет еще даже серьезных догадок, какие области физики могут указать направление, откуда приплывут облака, предвестницы грозы.

С удивлением обнаружили когда-то путешественники-европейцы, что у многих папуасских племен Новой Гвинеи нет специального слова для обозначения зеленого цвета. Это казалось тем более странным, что именно зеленый цвет господствовал в природном окружении этих обитателей тропических лесов. Прошло некоторое время, и лингвисты и этнографы пришли к выводу, что именно последнее обстоятельство и объясняло отсутствие столь необходимого, казалось бы, обозначения. Зеленый был постоянным, непреходящим фоном жизни — названия нужны были для тех цветов, которые на этом фоне выделялись.

Не то же ли примерно произошло и с физическим вакуумом в XX веке?

Наука обращала прежде всего внимание на события, происходившие на его вечном фоне, а сам фон оставляла поначалу без должного внимания.

В середине же нашего столетия прозвучали слова Поля Дирака: «Проблема точного описания вакуума, по моему мнению, является основной проблемой, стоящей в настоящее время перед физиками. В самом деле, если вы не можете правильно описать вакуум, то как можно рассчитывать на правильное описание чего-то более сложного?»

Вы уже прочли — во всяком случае в этой книге — о попытках показать, что «все есть ничто», рассматривать элементарные частицы как флуктуации или возбуждения вакуума и т. п. Но, даже оставляя в стороне трудно доказуемые гипотезы, можно быть твердо уверенным в величайшем вкладе вакуума в наблюдаемую нами реальность — так лес определяет образ жизни в раскинувшихся под его сенью деревушках, даже если их жители не умеют назвать цвет его листья.

Не будем же категорически настаивать вслед за Уилером, будто «Все есть Ничто»; согласимся с тем, что Ничто в этом случае — Нечто, и что Нечто по крайней мере имеет самое непосредственное отношение ко Всему.

От какого-нибудь воззрения, чтобы оно имело право на предпочтение перед другими существующими в науке, требуются известные качества: оно должно объяснять и предсказывать то, что не объясняется и не предсказывается с других точек зрения, по меньшей мере, оно обязано представить проще и яснее какие-нибудь вопросы, неудовлетворительно объясняемые прежними воззрениями.

Александр БУТЛЕРОВ

Только будущее сможет показать, в какой степени может осуществиться предсказание Г. И. Наана и действительно ли настанет момент для признания положения: «Вакуум есть все, и все есть вакуум».

Но, наверное, уже сейчас современное представление о вакууме — хотя бы в первом приближении — должно стать такой же необходимой составной частью общей культуры каждого человека со средним образованием, какою стали уже научные образы Коперниковой солнечной системы или атома по Резерфорду и Бору.

Теперь, после стольких страниц пылко́го гимна физическому вакууму, той замечательной роли, которую он уже играет в современной картине мира, после рассказа о гипотезах, придающих этой роли еще большее значение,— несколько осторожных слов. Если не об облаках, что появятся когда-нибудь на горизонте теории вакуума, то о ветре, который способен, может быть, пригнать эти облака.

С помощью свойств, присущих физическому вакууму, причем некоторые из этих свойств безусловно реальны, другие же предполагаются, современные теории и гипотезы объясняют — или пытаются объяснить — очень многое в мире; от природы всех взаимодействий до механизмов образования Метагалактики в ее нынешнем виде. Не просто большие — грандиозные надежды связывают физики с вакуумом, видя в нем ключ едва ли не ко всем замкам Вселенной.

Не напоминает ли это ситуацию с эфиром в конце XIX века?

Теория вакуума сегодня — любимое детище физики, младшее ее дитя, родители же, как известно, обычно любят младших детей, потому что не успевают в них разочароваться. От любимых детей часто ждут большего, чем они способны дать. Позволю себе напомнить, что сразу после появления общей теории относительности (именно она была тогда младшей и любимой дочерью физики) некоторые ученые, и среди них великий математик Давид Гильберт, ожидали, что эта теория даст, кроме всего прочего, глубинные законы строения вещества, законы, управляющие электроном и атомом. Довольно скоро выяснилось, что такую роль на себя взяла квантовая механика, а общей теории относительности осталось «только» учение о гравитации. Вот так же, возможно, будущее четко ограничит ту область явлений (пусть самую широкую), к которой приложима квантовая теория вакуума.

Где пройдет такая граница, конечно, бесполезно даже предсказывать — слишком мало знаем мы пока о физической пустоте.

Я не выдаю себя за ученого, но я слышал где-то, что научные истины, бесспорные для одного поколения, следующее, как правило, объявляет ложью.

Артур КОНАН ДООЛЬ

Да, может быть, теория вакуума не станет «теорией всего-всего-всего» — ведь этого не случилось с теориями Ньютона, Максвелла и Эйнштейна, хотя каждой из них какое-то время предсказывали именно такую судьбу. Но разве малую роль играют эти три учения в современной физике? Разве малая честь оказаться в одном ряду с ними?

...Теперь после этих осторожных слов, трезвых предупреждений и предусмотрительных оговорок придется повторить: претендует теория вакуума на большее, и пока не видно конкретных причин, почему бы ей этого большего не добиться!

«Современная богатая и сложная картина вакуума возникает как логическое следствие экспериментов и теорий. Эта картина представляется неизбежной как результат долгой, согласованной работы ученых», — пишет Я. Б. Зельдович.

Конечно, понятия пустоты и эфира тоже были результатом долгой работы ученых, но работы несогласованной, недаром варианты эфира так резко отличались друг от друга.

Теории вакуума и связанному с нею чертежу мироздания предстоит в ближайшие десятилетия жить и развиваться. И даже если картина мира не станет вакуумной в целом, право вакуума на важное место в этой картине — бесспорно, потому что тут люди нащупали истину.

Итак, каждая из сменяющихся научных картин мира содержит в себе какую-то часть истины, каждая из них в чем-то верна, но уступает место следующей, в которой доля истины больше.

Тут правда побеждает не неправду, как в борьбе науки и религии, но правду же, только менее глубокую и полную.

Настанет время, когда потомки наши будут удивляться, что мы не знали таких очевидных вещей.

СЕНЕКА

А было бы интересно хотя бы попытаться представить, какая картина мира когда-нибудь заменит вакуумную...

НА ПОЛЯХ КАРТИНЫ МИРА

Давным-давно сказано, что если бы таблица умножения затрагивала человеческие интересы, она бы оспаривалась.

То, как выглядит мир, затрагивает и интересы людей и их чувства. И не только когда научная картина становится с ненаучной, когда материализм выступает против идеализма и наоборот, но и при столкновениях, в которых на каждой из сторон — ученые.

Высших почестей среди физиков удостоивается тот, кто наиболее способствует изменению взглядов на само устройство Вселенной.

Ньютону принес величайшую славу закон всемирного тяготения, а не практически более ценные тогда и теперь законы механики.

Эйнштейна олицетворением физики XX века сделала теория относительности, а не работа, послужившая впоследствии отправной точкой для создания лазеров, так изменивших с шестидесятих годов нашего столетия технику, и не только технику.

Оно и понятно, кажется: одно дело изменить что-то на Земле, части целого, а другое — изменить взгляды людей на это целое. Мне кажется, однако, что есть тут психологическая сторона дела, на которую обычно не обращают должного внимания. Мыслящий человек не просто так, ради ленивого любопытства, интересуется тем, каков мир; он понимает, что подчиняется законам мира, связывает с ними порядок собственной жизни и в еще большей степени ощущает, чувствует, переживает эту связь.

«Мне представляется вполне разумной мысль, что все на свете, вместе взятое, определяет каждый наш поступок, мнение или желание; но был ли тот или иной поступок неизбежен с начала времен, это можно сказать, только если решить сперва, возможны ли события... не целиком предопределенные».

Эти слова взяты из автобиографической книги английского прозаика и драматурга Сомерсета Моэма. Дальше писатель рассуждает о новейших открытиях физики (новейших в тот момент: книга «Подводя итоги» вышла в Англии в 1938 году), приходит, было, к выводу: «Похоже, что опять нужно принимать в расчет случайность», но тут же отказывается от этой мысли, по-

тому что «два виднейших ученых нашего времени относятся к принципу Гейзенберга скептически. Планк высказал мнение, что дальнейшие исследования устранят кажущуюся аномалию, а Эйнштейн назвал философские идеи, основанные на этом принципе, «литературой», боюсь, что это лишь вежливый вариант слова «чушь»... Сам Шредингер сказал, что никакое окончательное и исчерпывающее суждение по этому вопросу сейчас невозможно».

С тех пор как были написаны эти слова, прошло больше сорока лет. За это время было высказано немало «окончательных и исчерпывающих суждений». Победы нокаутom ни одна из двух крайних точек зрения, пожалуй, не одержала — такой победы, чтобы и споров о ней не было. По «очкам» же с большим перевесом выигрывают сторонники того мнения, что аномалия здесь отнюдь не кажущаяся. Победила точка зрения тех, кто считает вероятностный мир действительно вероятностным, а не только, так сказать, на поверхности явлений. Хотя есть и сейчас последователи эйнштейновской точки зрения по этой проблеме, считающие, что у случайного в квантовом мире есть свои причины и когда мы их поймем, то случайность исчезнет.

Всего интереснее, на мой взгляд, не то, что английский писатель напряженно следит за событиями в новейшей науке и принимает их близко к сердцу. Главное: он непосредственно примеряет выводы науки к собственной жизни. Приведенным строчкам предшествуют в книге слова: «Мне кажется, что время от времени мне удавалось сделать усилие, не вполне предопределенное. Если это иллюзия, то иллюзия не бесполезная».

Ощущению человеком своего единства с Вселенной тысячи лет. Речь идет не о стихийном первобытном чувстве неотделимости человека от природы. Античные философы говорили о человеке как о микрокосме, как о существе, повторяющем в себе все мироздание, его отражении и образе.

К этой идее снова и снова возвращались мудрецы Востока в средневековье, как и европейские схоласты. И, знаете, в одном-то они были правы: разве не вмещает разум человека весь мир, разве не обнимает наша мысль Вселенную?

И вот нас, обремененных вполне земными заботами, почему-то начинает волновать будущее этой самой

Вселенной, беспокоить вопрос о том, «случайно ль мы живем». Весь огромный космос оказывается чем-то вроде приусадебного участка Земли, а физический микромир, до головной боли порой непонятный, почвой на этом участке.

Кстати, древнегреческие и древнеримские философы-стоики сравнивали этику, учение о нравственности, с плодами сада, почва которого — физика, учение о природе, а ограда — логика. Ради плодов нужны и почва и ограда — ведь без них и плоды не вырастут.

Наш вакуум в такой развернутой аналогии — подпочва, точнее, тот материковый исконный слой, который дает опору и почве и всему, что на ней построено и растет.

Борьба защитников порядка без случайностей и сторонников порядка, признающих случайности, на две с половиной тысячи лет старше, чем спор Эйнштейна с Бором и Гейзенбергом. Было бы, наверное, очень интересно выяснить, в какой мере сегодня на конкретную позицию ученого по этому конкретному (хоть и очень общему) вопросу влияет его личное, заданное условиями воспитания, жизненной средой, характером и темпераментом и т. п. нежелание подчиняться необходимости или, напротив, случайности. И что именно сыграло в этом решающую роль. Естественно, строгие доказательства повергнут в конце концов самого заядлого скептика, если он, разумеется, способен их понять.

Но чувство умеет сопротивляться, даже когда оно вынуждено уступать разуму. Великий Лоренц, один из тех, чьи работы легли в фундамент новейшей науки, горько сожалел, что не умер до низложения классической физики. Трудно было ему примириться с этим, а еще труднее, наверное, соглашаться с доводами тех, кто требовал ее низложения.

Деятелей науки уже давно и не раз пытались как-то классифицировать, разбить на категории — соответственно самым общим принципам их работы. Крупный немецкий химик Вильгельм Оствальд, например, делил ученых на романтиков и классиков. Первые — генераторы блестящих идей; предложив замечательную гипотезу или сделав эпохальное открытие, они обычно затем остывают к собственному детищу и уже не принимают или почти не принимают участия в дальнейшей работе над ним. Классики же, напротив, редко высказывают абсо-

лютно новые предложения, зато именно они доводят до логической завершенности, до возможных пределов полноты и совершенства исходные идеи и романтиков и свои собственные.

Это деление достаточно условно. Ньютона и Менделеева, скажем, нельзя отнести ни к тому, ни к другому классу.

Сейчас я попробую обратить внимание на еще одно возможное (хотя опять-таки условное и неполное) разделение ученых на типы — по их отношению к случайности.

Видели же мы на примере Моэма, как трогает эта проблема человека, выступающего в роли, так сказать, потребителя научных сведений, и уж во всяком случае не менее эмоционально относились к ней почти все создатели научных теорий, где затрагивалось соотношение в жизни и природе случайности и необходимости.

Первые античные философы наводили строгий порядок в своем мире, создавая первую его научную по своим принципам картину, и провозгласили владыкой Вселенной великую необходимость. Наиболее четко сформулировал принципы такого подхода Демокрит в V веке до н. э.: все в мире имеет причину и совершается в силу необходимости. Случайное же только кажется таким из-за незнания его причин. Это были великие принципы для мира, который еще недавно — в глазах людей — подчинялся произволу олимпийских богов... Это была великая победа мысли.

Другой древний материалист, Эпикур, развивавший атомистическое учение Демокрита, добавивший к свойствам Демокритовых атомов — форме и величине — еще и вес, совсем по-другому отнесся к случайности. Он наделяет атомы способностью самопроизвольно и случайно отклоняться от своего пути — поразительная по своей глубине догадка, если вспомнить об открытых в XX веке законах квантовой механики.

Как же пришел мудрец к этой догадке, исходя из чего он взял на себя смелость утверждать: «Необходимость, которая вводится некоторыми в качестве верховной повелительницы, не существует, но одно случайно, другое зависит от нашего произвола»? Руководствуется Эпикур — достаточно откровенно — не выводами из каких-либо наблюдений, а лишь собственным категорическим нежеланием «быть рабом судьбы, какой она высту-

пает у физиков». Им движет прежде всего оскорбленное чувство независимости, ибо «несчастье — жить в необходимости». Он и сам сознавался: его способ объяснения имеет целью невозмутимость самосознания, а не познание природы само по себе... Однако личные мотивы, лежащие здесь на поверхности, не лишают подход Эпикура научной ценности; его нововведение в атомистику стало «основой более глубокого взгляда на соотношение необходимости и случайности», как констатирует современный философский словарь.

Видимо, очень удачно сумел Эпикур отождествить себя со Вселенной.

Восторженно развивал идею Эпикура Лукреций Кар:

...Но чтоб ум не по внутренней только
Необходимости все совершал и чтоб вынужден не был
Только сносить и терпеть и пред ней побежденным
склоняться,—
Легкое служит к тому первичных начал отклоненье.

А вот знаменитый римский оратор Цицерон, можно сказать, слова с трудом находил, чтобы побольнее уязвить последователей Эпикура, более того, самого философа, будто и не прошло тогда двухсот лет со дня его смерти: «Да и само отклонение есть произвольная выдумка — ведь он говорит, что атом отклоняется без причины, а ничего нет для физики постыднее, как утверждать, что то и другое совершается без причины...» (Эйнштейн, как вы помните хотя бы по приводившимся цитатам из Моэма, по аналогичному поводу говорил: «литература». И это — Эйнштейн, в отличие от Цицерона не любивший обижать коллег!)

Лаплас довел демокритовский механический детерминизм до крайних пределов; он считал, что все в мире происходящее однозначно задается тем, что уже происходило...

Честно говоря, легче, кажется, понять ужас Эпикура перед необходимостью демокритовско-лапласовского толка, чем возмущение Эйнштейна тем, что бог (читай: природа) у Бора и Гейзенберга «играет в кости».

И так близок стольким из нас тот последователь Эпикура, который говорил: «Эпикур — наш избавитель, он дал нам свободу».

Да что вы хотите: случайное в поведении атомов древности и «нынешних» элементарных частиц обороа-

чивается проблемой свободы воли, а уж это волновало людей тысячи лет.

Помните, в чем упрекал иезуит молодого Арамиса в «Трех мушкетерах»? Тот, видите ли, затронул «вопрос о свободе воли, являющийся дьявольским соблазном». И видно, вправду соблазном, коли тут Эйнштейн начинает грубить, Лоренц жалеть, что он не умер вовремя, а Гейзенберг откладывать решение проблемы на отдаленное будущее.

Хорошо было знаменитому Кювье: тот полагал, что в природе могут быть случайности, только науке-то с ними нечего делать, и думать о них, значит, не следует.

А уж сугубо вероятностный мир квантовой физики нередко вызывал и прямое сопротивление и просто антипатию. Не знаю, разделял ли ее американский фантаст Роберт Шекли, когда писал свою повесть «Обмен разумов», но появляющийся в ней «Искаженный мир» — кое в чем явная и злая пародия на квантовую механику. В цитируемых в повести «Размышлениях математика» говорится:

«В самом деле, как мы убедились, Искаженный мир выполняет нужную, но отвратительную роль — привносит неопределенность во все явления и процессы, тем самым делая Вселенную теоретически и практически самодовлеющей».

А дальше сообщается:

«Некий мудрец однажды спросил: «Что будет, если я войду в Искаженный мир, не имея предвзятых идей?» Дать точный ответ на такой вопрос невозможно, однако мы полагаем, что к тому времени, как мудрец оттуда выйдет, предвзятые идеи у него появятся».

Диалектический материализм принимает и необходимость и случайность: и та и другая объективно существуют, мало того, тесно связаны, неотделимы друг от друга. Каждое явление возникает в силу внутренней необходимости, но разнообразны условия, в которых оно возникает, многочисленны влияния на него, и это отражается в случайностях, его сопровождающих.

В науку — во многом благодаря квантовой физике — вошло теперь представление о статистической закономерности. Будущее при ней определяется настоящим не однозначно, а лишь с некоторой вероятностью — не по Демокриту, не по Эпикуру.

Моэм воспринял это как уничтожение причинных связей — на самом деле стало глубже и шире наше представление о причинных связях.

Человеческое, идущее не только от мысли, но и от чувства, продолжает оставаться хорошо заметным даже на самых абстрактных высотах теоретической мысли.

Впрочем... Мы привыкли представлять себе героев прошлого монолитными фигурами, державшимися по каждому вопросу определенной точки зрения, по крайней мере после того как они к этой точке зрения пришли, пострадали ее. Такими они, похоже, выступают и в этой книге. А в жизни? Гордый своим знанием о мире Аристотель, по легенде, имеющей, по-видимому, какие-то основания, покончил с собой из-за того, что не мог объяснить, отчего возникают морские приливы. Тот самый граф и маркиз Лаплас, который во множестве упоминающих о нем книг — и здесь тоже — выступает как апологет жестко детерминированного мира, иногда писал совсем другое, сомневался, даже отчаивался.

Люди так часто противоречат не только другим, но самим себе, меняют точки зрения, поправляют сами себя, соглашаются с другими... Наверное, только это и дает нам возможность познавать Вселенную, тоже ведь насыщенную противоречиями.

ЖДИТЕ ВЕЛИКИХ ОТКРЫТИЙ

Что сулит нам исследование вакуума, если от теории перейти к практике, да притом не просто практике, а житейской?

В последние две сотни лет наука избаловала землян тем, что стала слишком явно окупаться. Создал Карно свою теоретическую модель тепловой машины, и довольно скоро паровые котлы стали работать с бóльшим коэффициентом полезного действия. Едва Герц обнаружил радиоволны, как тут же (семь лет — не срок) появился первый радиопередатчик. Эйнштейн когда-то описал интересное явление, которое может происходить со светом (только может, чистая теория), и вот, пожалуйста, ныне многие научные лаборатории, исследовательские центры, клиники и даже целые отрасли народного хозяйства невозможно представить себе без лазеров.

Так что же сулит нам исследование вакуума — теоретическое и экспериментальное?

Заниматься прогнозами — дело опасное. Марк Твен как-то заметил, что человечество всю свою историю играет в забавную игру под названием «Натяни нос про-року». Поэтому автор из разумной осторожности (а может быть, и из постыдной трусости) решил обратиться к таким авторитетам в области предсказаний, как фантасты.

Вот лежит передо мной роман Михаила Емцева и Еремея Парнова «Море Дирака». Что означает его название, надеюсь, понятно. Герои романа обнаруживают, что, обращая в лабораторных условиях виртуальные частицы в реальные, из вакуума можно получать точные копии любых предметов. Воспользовавшись такой случайно предоставившейся ему возможностью, беспринципный сотрудник научно-исследовательского института изготавливает драгоценные камни и золотые вещи для продажи, а заодно производит денежные купюры, у которых есть только один недостаток — они слишком похожи друг на друга, идентичны в степени, достигнуть которой не в силах даже фабрика «Гознак».

Директор Института физики вакуума (в романе) пишет другу в другой город, излагая научные основы вакуумного копирования: «...создав достаточно высокие концентрации энергии в хорошем вакууме, нам удастся трансмутировать дираковский виртуальный фон в некоторое число частиц. Затем, изучив кинетические закономерности процесса, можно было бы наладить сам процесс. Он сулит сказочные перспективы, так как возможности вакуума неограниченны. Источником вещества заданного состава и количества, по идее, могла бы служить любая точка пространства. Нужно только определить качественные и количественные характеристики процесса, и тогда...»

Что же, придумано, мне кажется, отлично, и сам роман интересен. Ну а как с точки зрения науки?

Принципиальных возражений как будто нет. Ведь виртуальные частицы, если снабдить их энергией, действительно можно сделать реальными. А там каким-то образом объединить их в атомы, скажем, золота, и раз и навсегда решить проблему его добычи. Ни тебе геологической разведки, ни шахт, ни трудоемких операций по промывке породы. Однако место принципиальных возражений здесь могут занять возражения сугубо технические и даже технико-экономические. Я не буду сейчас

касаться вопроса о том, каким образом можно (и можно ли) собрать вместе частицы, получившиеся из виртуальных, так, чтобы вы могли взять в руки кусок золота: фантастика имеет свои права. Дело в другом — в цене золота, полученного таким способом, она будет астрономическая. В этом легко убедиться, вспомнив всего две величины и одну формулу. Формула: $E=mc^2$. Из этой формулы следует, что один грамм вещества можно будет получить в результате огромных затрат энергии. Скорость света $c=300000$ км/с, а один киловатт-час стоит потребителю в нашей стране 4 копейки. Дальнейшие расчеты каждый желающий может провести сам.

Правда, в придачу к грамму золота будет обязательно получен, по той же цене, и грамм антизолота — частицы-то рождаются в «парах» с античастицами. Но, пожалуй, хранение антизолота должно обойтись даже дороже, чем получение.

Так что же, не черпать нам, выходит, вещество из «моря Дирака»? Как принципиальную возможность, повторяю, этого исключать нельзя. А практику оставим пока фантастам: они вправе не ждать лучших времен и превращать виртуальные частицы в золотые слитки уже сейчас — чего стоила бы фантастика без фантазии?

Сомнение доставляет мне не меньше наслаждения, чем знание.

Мишель МОНТЕНЬ

Другая идея — из вакуума черпать энергию. Большинство специалистов по квантовой теории поля решительно считает такое абсолютно невозможным, и доводы этого большинства звучат очень убедительно. Позволю себе повторить, чуть сократив, хотя бы высказывание Д. А. Киржница, приведенное в предыдущей главе: «Вселенная выглядела бы иначе, будь вакуум резервуаром огромной (не говоря уж — бесконечной) энергии... если бы энергия вакуума была большой, характер расширения Метагалактики был бы совсем иным, нежели это наблюдается на самом деле». И дополню эту часть ответа Киржница на вопрос об энергии вакуума словами, опущенными при первом цитировании: «Хорошо это или плохо с точки зрения энергетического кризиса, но из многих убедительных теоретических работ следует вывод о том, что энергия вакуума вряд ли отлична от ну-

ля. Вакуум во многом загадка, ждать от него стоит многого, но не всего же, что нам нужно».

Другой советский физик — В. Г. Лапчинский — тем не менее полагает возможным получение энергии из вакуума.

Не хочется ни говорить оптимистическое «а вдруг», ни грустно вздыхать над заживо похороненной любопытной идеей. А как было бы здорово: бери из одного объема вакуума энергию, направляй в другой объем, там «в обмен» получишь вещество! Увы, вероятность подобного чрезвычайно мала.

Между прочим, физикам, а не фантастам принадлежит идея о том, что поляризацию космического вакуума можно использовать для ускорения движения межзвездных кораблей, что можно и прямо черпать из вакуума топливо для них. Правда, авторы этой идеи тут же сами опровергли дальнейшими расчетами возможность ее практического применения, даже в отдаленном будущем. Один из физиков заметил по этому поводу: да, конечно, выглядит совершенно нереально, однако если мысленно поставить себя на место тех, кто начинал эру электричества, то придется прийти к выводу: они преодолели тот же барьер нереального — ведь в нашем мире почти все тела электрически нейтральны.

Эта аналогия, как и всякая другая, доказательством служить не может, а вот материалом для размышлений — пожалуй.

* * *

Проблемы вакуума завязаны в один узел с крупнейшими проблемами физики в целом, без их последовательного решения невозможен сейчас нормальный прогресс этой науки XX века.

Вакуум — фундаментальнейшая проблема сам по себе, а такие проблемы исследуют, как правило, не задаваясь мыслью о конечной практической пользе. Это не значит, однако, что такой пользы и ждать не надо.

Высшей истинностью обладает то, что является причиной следствий, в свою очередь, истинных.

АРИСТОТЕЛЬ

Уже упоминавшийся Виктор Вайскопф решил как-то подсчитать, во что обошлась человечеству фундаментальная наука, те исследования, которые заведомо не преследовали практических целей, стремясь лишь к открытию новых истин. Он прикинул, что в последнее время сумма расходов на науку удваивается каждое десятилетие, взял примерную цифру таких расходов за ближайший год и построил геометрическую прогрессию, обращенную в прошлое. Получилось, что к 1971 году, когда он привел результаты своих расчетов в одной из лекций, человечество затратило на фундаментальную «чистую» науку — за время от Архимеда до наших дней — примерно тридцать миллиардов долларов, стоимость тогдашней двенадцатидневной валовой продукции США в ценах 1971 года.

Право же, совсем немного, коли вспомнить, чем фундаментальная «чистая» наука расплатилась за то же время — от Архимеда до наших дней. Открытия, сделанные во время исследований глубочайших научных проблем, воплощены в вещи, окружающие нас дома, в станки и приборы, на которых мы работаем, в то, что стало неотъемлемой частью обыденной жизни.

Архитектор, построивший шестьдесят с лишним лондонских зданий, в том числе собор Святого Павла, похоронен в этом соборе. На его могиле надпись: «Ищешь памятник — оглядись вокруг». Такой могла бы быть и эпитафия Архимеда, Галилея, Гюйгенса, Ньютона, Ломоносова, Менделеева, Эйнштейна, Бора, Циолковского. И столько других.

Архимед не был кораблестроителем, Циолковский не строил двигателей для своих ракет... Теоретики редко занимались практическим применением выводов из своих фундаментальных работ — так и архитектору не обязательно самому класть кирпичи своих зданий.

Соблазнительно ждать от каждой новой фундаментальной научной работы конкретных чисто практических следствий — новых видов энергии, новых способов космических путешествий, новых... Продолжите сами.

Так снова вернемся к вопросу, заданному в начале главы: ждать ли нам всего этого от работ над проблемами вакуума, пусть даже не сейчас, а в довольно отдаленном будущем?

В ответ на скепсис многих специалистов естественно

вроде бы вспомнить Резерфорда и прочих первоосоздатель атомной теории, которые издевались над глупцами, предлагающими использовать энергию атома.

Однако сравнение, как уже не раз приходилось напоминать, не доказательство. Среди научных предсказаний (в отличие от предсказаний политических!) обычно запоминаются несбывшиеся.

И мне остается только повторить сказанные одним физиком совсем не по поводу вакуума и все же удивительно подходящие к данному случаю слова: «При нашем невежестве отрицать возможность полезного применения было бы самонадеянно в той же степени, в какой безответственно было бы гарантировать ее».

Впрочем, позволю себе быть до некоторой степени безответственным: никак не гарантируя конкретный путь использования вакуума, можно поручиться все же: исследования так или иначе обязательно принесут и конкретную практическую пользу, здесь или там, в той или иной области техники... Вести же исследования надо независимо от такой пользы, как ребенку следует учиться, даже не получая за каждую пятерку по конфете. Все мы — дети природы и учимся у нее.

В конечном счете знание, по Френсису Бэкону, — сила, и наше время добавило в это старое лаконичное положение многозначительный эпитет, определив науку как производительную силу. Прогресс развитого общества всегда был связан с научным знанием, только никогда прежде это не проявлялось с такой убедительной очевидностью.

Будем же ждать новых великих открытий!

Истинная и законная цель всех наук состоит в том, чтобы наделять жизнь человеческую новыми приобретениями и богатствами.

Френсис БЭКОН

ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Вот и заканчивается наше с вами краткое путешествие через века, десятилетия, годы. Мы вместе следили за изменениями в свете новых и новых знаний идеи всеенского фона, на котором происходят все мировые события.

Мы познакомились с пустотой и противостоящими ей эфиром, а затем физическим вакуумом. И тот и дру-

гой можно со всеми подобающими оговорками отнести здесь к категории «антипустоты»: в сущности, и эфир и вакуум «появились» именно для того, чтобы в наших представлениях заменить собой пустоту.

По законам диалектики всякое развитие проходит через три стадии гегелевской триады: утверждение, отрицание и наконец отрицание отрицания. Так произошло и с развитием идеи о мировой материальной среде.

Аристотель ввел в сконструированную им картину мира всепроникающий и вездесущий эфир. Декарт, Ньютон, Гюйгенс и многие другие подвели, исходя из научных представлений нового времени, под идею эфира фундамент, использовали ее в своих гипотезах и теориях.

Это — утверждение.

Впрочем, чертеж мироздания, намеченный Ньютоном, мог обойтись и без эфира, как показывают те высказывания великого физика, которые в главе «Ответ ко всем задачам» обозначены как «первая позиция». А картина Вселенной, связанная с теорией относительности, в такой особой материальной среде не нуждалась. Значит, в развитии этой идеи одна из позиций Ньютона и касающиеся данной проблемы положения теории относительности соответствуют отрицанию.

Наконец, квантовая механика породила строго научные представления о реальном и чрезвычайно значимом существовании мировой материальной среды.

То есть перед нами — отрицание отрицания.

Сопровождая одну из замечательных научных идей в ее пути сквозь время, мы и не надеялись, как вы помните, узнать «всю правду» о Вселенной по имени Вакуум, об истории ее открытия и постижения. А уж сколько частных проблем осталось в стороне от этого рассказа, о скольких фактах и гипотезах даже не упомянуто, сколько крупных ученых, работающих в этой области знаний, здесь не названо... Так помните, пожалуйста, что каждое научное положение, как и каждое научное предположение, о которых написано в книге, — прежде всего представители других, здесь не затронутых.

Открыл эту книгу эпиграф из Гёте с мефистофельским вопросом, обращенным к Фаусту: «Достаточно ль знаком ты с пустотой?»

Современный физик может ответить вслед за Фаустом: «Дух пустоты, надеюсь, схвачен мной».

И может быть, повторить гордое заявление Фауста Мефистофелю:

Но я в твоём «ничто» надеюсь, кстати,
Достать и все посредством тех же чар.

Чары науки, её оружие — теория и эксперимент, эксперимент и теория.

Замечательные же идеи, которые наука порой приносит через века, — своего рода линии на картине мира, помогающие найти дорогу от известного к неизвестному. Каждая из них служит чем-то вроде оси, на которую словно нанизываются, организуясь в более или менее стройные системы, научные факты и догадки, открытия и теории. Я попытался сделать возможно более явной такую роль идеи, ставшей героиней этой книги. И раз уж было употреблено слово «ось», пусть оно выведет вот к какому сравнению. Земную ось, воображаемую линию, вокруг которой вращается наша Земля, не так-то просто было в своё время определить. Зато на школьном глобусе она прямо-таки в глаза бросается. Ну а популярная книга о науке относится к самой науке, как глобус к планете.

ЛИТЕРАТУРА

Зельдович Я. Б. Теория вакуума, быть может, решает загадку космологии. — Успехи физических наук. Вып. 3. Т. 133. 1981.

Мигдал А. Б. Поиски истины. М., Знание, 1978.

Уилер Д. ж. Предвидение Эйнштейна. М., Мир, 1978.

Мигдал А. Б. Фермионы и бозоны в сильных полях. М., Наука, 1978.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	5
Обращение к читателю	7
СУЩЕСТВУЕТ ЛИ ПУСТОТА	12
ПЯТАЯ СУЩНОСТЬ	23
Вместо пустоты	23
Родословная эфира	24
Ответ ко всем задачам	26
Величие и падение эфира	44
НИЧТО И НЕЧТО	58
Над «морем Дирака»	58
За океаном — океан	63
Простота сложности и сложность простоты	70
Все силы мира	78
Меняющийся вакуум	103
Законы и запреты	108
Математика для физики	113
Плодоносящая пустота	121
Что и вакууму не под силу	134
Вокруг нейтрино	136
Физическая лаборатория в толще океана	138
Удивляясь собственным победам	144
Эфир и вакуум: общее и разное	151
НИЧТО И ВСЕ	154
За «морем Дирака», или «Все есть ничто»?	156
Холст и краски	165
Все есть вакуум?	170
На полях картины мира	178
Ждите великих открытий	184
Вместо заключения	189

Роман Григорьевич Подольный

НЕЧТО ПО ИМЕНИ НИЧТО

Главный отраслевой редактор В. П. Демьянов

Редактор Н. Ф. Яснопольский

Мл. редактор Н. А. Львова

Художник В. И. Пантелеев

Худож. редактор М. А. Гусева

Техн. редактор И. Е. Жаворонкова

Корректор Н. Д. Мелешкина

ИБ № 5750

Сдано в набор 09.12.82. Подписано к печати 07.06.83. А 12308. Формат бумаги 84×108¹/₃₂. Бумага тип. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 10,08. Усл. кр.-отт. 10,29. Уч.-изд. л. 10,53. Тираж 150 000 экз. Заказ, 1471. Цена 65 коп. Издательство «Знание», 101835, ГСП, Москва, Центр, проезд Серова, д. 4.
Индекс заказа 837717.

Отпечатано с матриц Головного предприятия на Киевской книжной фабрике республиканского производственного объединения «Полиграфкнига», 252054, Киев, ул. Воровского, 24.

ЖЗЛ ЖИЗНЬ
ЗАМЕЧАТЕЛЬНЫХ
ИДЕЙ

Роман Подольный

НЕЧТО ПО ИМЕНИ НИЧТО

*Свойства окружающего нас мира
во многом определяются свойствами вакуума.
А что мы знаем ныне о нем самом?*



ЗНАНИЕ

Роман Григорьевич Подольный родился в 1933 году, по образованию историк, по опыту работы — научный журналист, более двадцати лет заведует отделом в журнале „Знание — сила“. Автор одиннадцати научно-художественных книг, пишет также научно-фантастические рассказы.

Книга „Нечто по имени Ничто“ участвовала в конкурсе издательства „Знание“, объявленном в 1978 году, и получила на нем премию.

