

## ВВЕДЕНИЕ

---

Эйнштейн был возбужден мыслью о нашей \*) книге. «Это драма, драма идей, — сказал он. — Наша книга должна быть интересной, захватывающей для каждого, кто любит науку.»

*Леопольд Инфельд.*

«Мои воспоминания об Эйнштейне»

Мир многолик, он многообразен, изменчив, полон неожиданностей. Каждый окружающий нас предмет обладает только ему одному присущими чертами и не тождественен другому подобному предмету. Невозможно найти два совершенно одинаковых дерева, два совершенно одинаковых камня. Даже две капли воды немного отличаются одна от другой. Явления окружающей нас Природы всегда неповторимы, непохожи одно на другое. Но их неповторимость не мешает исследователям выделять при изучении Природы наиболее существенные характеристики предметов и явлений и устанавливать законы Природы — устойчивые связи между такими характеристиками.

С самых первых шагов развития науки ученые стремились свести законы Природы к совокупности законов взаимодействия и превращений небольшого набора элементарных частиц. Названия таких частиц менялись. Развитие физики кажется на первый взгляд (но только на первый!) состоящим из смены названий. На смену молекулам, атомам, электронам и ядрам, протонам и нейтронам приходят кварки, лептоны, глюоны... Ну и что? — спросит скептик. — Какие еще названия придумают физики?

Но дело не просто в смене названий. Новые понятия отражают фактическую смену уровней представлений о структуре материи, о свойствах ее составляющих.

Первый уровень, в сущности, был достигнут если не в Вавилоне и Древнем Египте, то во всяком случае в Древней Греции. Здесь мы не будем вдаваться в

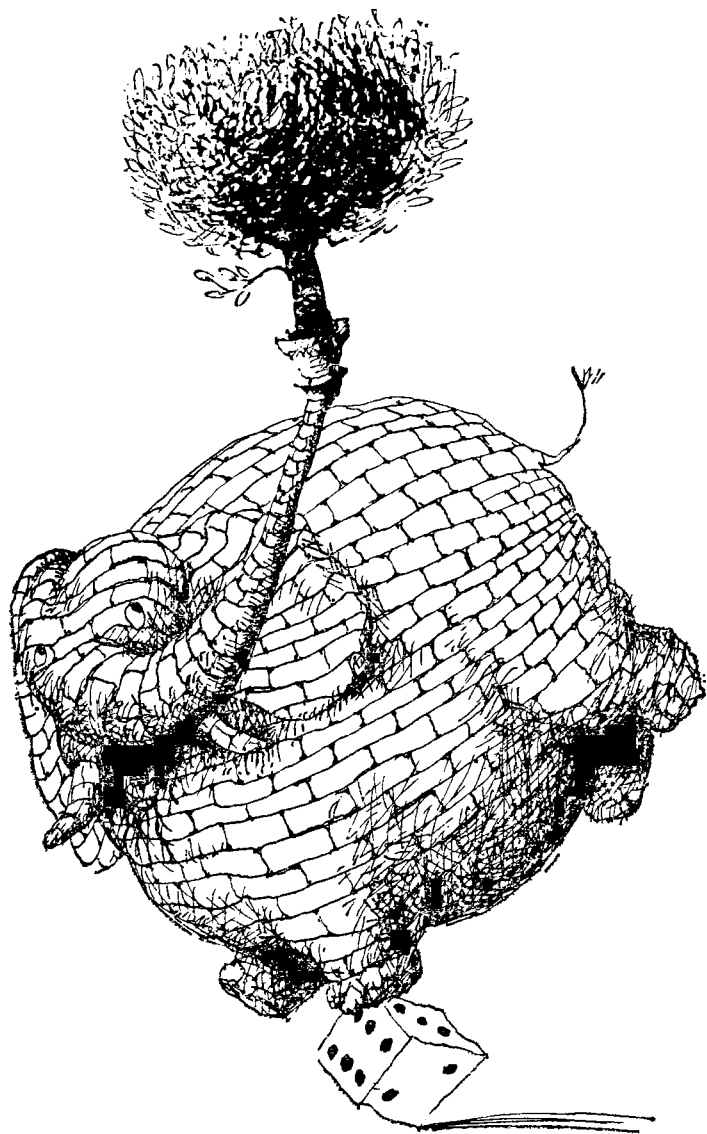
---

\*) Речь идет о книге А. Эйнштейна и Л. Инфельда «Эволюция физики».

детальную историю с указанием приоритетов, а постараемся пояснить общую картину.

Итак, можно представить себе определенный, небольшой набор сортов элементарных частиц. Все многообразие Природы, живой и неживой, определяется различным *расположением* этих частиц. Обладая ограниченным числом типоразмеров кирпичей, архитектор может построить огромное разнообразие сооружений — кирпичный забор, жилое здание, цирк или храм. К концу XIX в. этот «архитектурный» идеал реализуется в химии. Ограниченный набор химических элементов, т. е. определенное число (меньше 100) различных сортов атомов, позволяет химику «построить» огромное число разных соединений, т. е. различных молекул. Затем на разнообразии соединений с различной внутренней структурой накладывается различная укладка самих молекул в твердое тело, кристаллическое или аморфное, или в виде жидкости и т. д. Не будем здесь говорить о дальнейших возможностях придавать этим телам различную форму путем механической обработки, важен принцип. В основе научного мышления конца XIX в. лежала атомистика — представление об атомах — элементарных, не уничтожимых и не рождающихся вновь, а лишь подвергающихся перемещению, перекомбинированию в различные молекулы при химических превращениях.

Периодическая система Менделеева явилась гениальным обобщением всей суммы химических знаний. Общеизвестна роль периодической таблицы в предсказывании новых элементов, не известных во времена Менделеева. Сейчас, когда заполнены почти все пустые клетки таблицы, продолжается «погоня» за все более тяжелыми элементами. Ряд элементов, созданных Природой, заканчивался ураном. Нептуний, плутоний и следующие за ними — это рукотворные элементы, дети второй половины XX в. Однако, может быть, меньше осознана роль таблицы Менделеева в дальнейшем идейном развитии науки. Расставляя элементы по клеткам, автор таблицы исключает возможность существования каких-то промежуточных элементов. Не ясно, как далеко простирается таблица за ураном, но несомненно, что до урана включительно есть всего 92 элемента, не больше.



Еще важнее следующий аспект периодического закона: он наводит на мысль о неких принципах, общих для всех химических элементов, а отсюда уже недалеко до идеи, что все элементы построены по некоему общему плану из меньшего числа элементарных частиц.

Эта идея была реализована дважды, на двух различных уровнях. Сначала, в 20-х гг. XX в., была открыта и изучена электронная структура атома. Было выяснено, что атом состоит из ядра и электронных оболочек. Номер элемента в периодической системе оказывается равным заряду ядра и, следовательно, равным числу электронов в нейтральном атоме. На следующем этапе оказалось, что само ядро состоит из протонов и нейтронов. Были открыты изотопы.

Таким образом из наивных представлений древних о четырех элементах (вода, земля, огонь, воздух) через представления химиков о 92 (а потом и более) различных элементах наука пришла к представлению о трех сортах элементарных частиц — протонах, нейтронах, электронах. В огромной области науки (химия, биология, молекулярная физика) электроны и даже ядра можно и сегодня по-прежнему рассматривать как кирпичики, которые сохраняют свою индивидуальность, не рождаются и не уничтожаются. Все химические реакции, макрофизические процессы представляют собой перегруппировки этих частиц, вся ядерная физика представляет собой перегруппировку или взаимопревращение протонов и нейтронов.

Оказалось, что идею о кирпичах можно распространить и на все процессы естественной и искусственной радиоактивности. Стоило только объединить ядерные частицы — протон и нейтрон — в одном понятии «нуклон». Тогда даже такие ядерные процессы, в которых происходит превращение нейтронов в протоны, например,  $\beta$ -распад, также сводятся лишь к видоизменению неуничтожимого кирпичика — нуклона. Общее число нуклонов при этом сохраняется.

Конечно, к началу 30-х гг., когда были открыты нейтроны и строение ядра, кое-что уже изменилось в свете идей теории относительности. Итак, все электроны одинаковы, одинаков их заряд, то же относится и к протонам. Одинаковы по величине (но не по знаку) заряды протона и электрона, одинаковы и электро-нейтральны все нейтроны. Однако, говоря о массе ча-

стиц, о том, например, что одинаковы массы всех электронов, мы теперь должны говорить точнее — о массе покоя электрона. Именно ее в теории элементарных частиц и принято называть массой\*). Теория относительности показала, что масса — мера инертности и мера тяготения — есть в действительности полная энергия и не является инвариантной величиной. Так, учет дефекта массы за счет энергии связи делает массу связанной системы меньше суммы масс ее составляющих. Например, масса ядра гелия на 0,7% меньше, чем сумма масс тех двух протонов и двух нейтронов, из которых состоит это ядро. Косвенный результат этого состоит в том, что, взвесив тело, мы еще не можем точно сказать, сколько нейтронов, протонов и электронов содержит данное тело. Зато связь между массой и энергией позволила на основе одних только измерений атомной массы определить энергию, которая выделяется при превращении водорода в гелий.

Итак, отметим как определенную ступень познания представление об элементарных частицах как о всегда одинаковых, не уничтожимых и не рождающихся, вечных составных частях всего сущего. (Забудем на время процессы бета-распада и взаимопревращение протонов и нейтронов. Радиоактивность была открыта в конце XIX в., но была понята только в XX в., так что мы вправе здесь не рассматривать эти процессы, излагая историю физики.) В пределах этого представления переход от атомов к протонам, нейтронам и электронам на качественном уровне ничего не меняет.

Принципиально новое слово было сказано в начале XX в., когда в результате открытий Планка и Эйнштейна выяснилось, что свет также состоит из отдельных частиц — фотонов. Если про электроны можно было думать, что они вечны, то с фотонами с самого начала была полная ясность: фотон рождается, и уничтожается, потому что это частица света,

\*) В начале века было принято говорить о «массе движущегося тела», зависящей от его скорости». Но эта формулировка сейчас полностью оставлена. Можно говорить об энергии тела или частицы, которая в данной системе координат равна  $E = mc^2 + mv^2/2$ , если  $v \ll c$ , и кинетическая энергия равна  $mv^2/2$ . Точное выражение энергии  $E = mc^2/\sqrt{1 - v^2/c^2}$ . Очень подробно и четко этот вопрос изложен в книге Л. Б. Окуня «АВУ ... Z (М.: Наука, 1985. — Библиотека «Квант»; Вып. 45. — С. 13—17).

которая может излучаться и поглощаться. Электрическая лампочка не «содержит» фотоны — она их рождает в процессе излучения. Возник новый тип частиц — рождающихся и уничтожающихся.

В одних опытах фотоны вели себя как волны — наблюдалась их дифракция и интерференция. На этом языке естественно говорить также и о генерации (испускании) воли и об их поглощении.

В других опытах фотоны рассеивались на атомах как механические шарики.

Наконец, фотоны могли появляться и исчезать, как шарики в руках иллюзиониста. Но, может быть, и другие частицы не всегда ведут себя как неуничтожимые механические шарики? Может, они также могут рождаться и уничтожаться? Может быть, и электрон ведет себя как волна, только длина этой волны столь мала, что нужны очень тонкие опыты, чтобы выяснить его волновую природу? Такие опыты были проделаны. Была наблюдаена дифракция электрона. Возникла квантовая механика.

Квантовая механика 20-х гг., на основе которой можно было объяснить закономерности переходов в атомах, законы молекулярной химии и твердых тел, еще не изменила идею неуничтожимого электрона. Изменился только способ описания его движения. Однако одновременно был подготовлен математически и новый не менее радикальный шаг.

В 1931 г. последовательное квантовомеханическое описание движения электрона привело английского физика Дирака к предсказанию позитрона. У электрона оказался двойник с электрическим зарядом противоположного знака. В паре с этим двойником электрон мог рождаться и уничтожаться.

Итак, электрон не вечен. Он может рождаться и уничтожаться, но не поодиночке, как фотон, а в паре с позитроном. Электрон не может родиться или умереть один — он несет электрический заряд, который должен сохраниться. Если же, как в  $\beta$ -распаде, он образуется без позитрона, то и здесь он рождается в паре с протоном (нейтрон ядра превращается в протон). В  $\beta^+$ -распаде рождается позитрон, но одновременно с этим протон ядра превращается в нейтрон. Так что и в  $\beta$ -распадах электрический заряд сохраняется.

Были открыты и другие «заряды», сохраняющиеся в процессах превращения элементарных частиц. Так, в физику на смену понятия «вечная, неуничтожимая частица» приходит понятие «вечного, неуничтожимого заряда».

Двадцатый век самым решительным образом изменил наши представления о законах природы. Произошла настоящая научная революция! Новое понимание возникло не на пустом месте. К концу XIX и началу XX вв. физика достигла высокого уровня развития. К этому времени было завершено построение механики Ньютона, электродинамики Фарадея и Максвелла и термодинамики. Движение планет великолепно подтверждало законы механики. Электродинамика объяснила природу света, фундаментальные принципы электротехники. Появились электромоторы, динамомашины, трансформаторы. Электродинамика предсказала существование более длинных по сравнению со световыми электромагнитных волн. Герц, Попов и Маркони создали на этой основе радиосвязь. Энергетика и транспорт, паровые турбины и двигатели внутреннего сгорания — все это достижения физики XIX в. Достижения, которые живы и сегодня.

Поэтому в научной революции XX в. с самого начала было ясно, что строить новый мир идей и знаний надо, бережно сохраняя все правильное, оправдавшее себя, что содержалось в «старой» физике.

Успеха в прокладывании новых путей добивались именно те физики, которые соединяли в себе два необходимых качества:

1) чувство нового: они видели новые данные опыта, требующие изменения устоявшихся взглядов, они не отмахивались от нового. Они активно искали пути объяснения новых фактов, не останавливаясь перед изменением устоявшихся теорий;

2) бережное уважение к наследию старого: эти физики понимали, что в физике XIX в. должно сохраниться все ценное, оправдавшее себя на опыте и в практике.

Так возникла новая физика, физика XX в., физика теории относительности и квантовой теории. Эта новая физика содержит новые революционные идеи и вместе с тем бережно сохраняет, включая в себя, прошлую физику XIX в.

Но и сам XX в. очень неоднороден, разные его периоды очень неодинаковы. Сейчас, когда век близится к окончанию, об этом уже можно делать определенные высказывания. Хорошо известно, что предсказания делать трудно, тогда как «послесказания» (если можно так выразиться) гораздо надежнее. Кратко об этом говорят «задним умом все крепки».

Квантовая теория была развита менее чем за 30 лет. В 1900 г. фундаментальная постоянная этой теории — постоянная Планка — введена в теорию теплового излучения. В 1905 г. показано, что в определенных процессах (фотоэффект, фотохимические реакции) свет ведет себя как совокупность отдельных частиц — фотонов. В 1912 г. построена первая модель атома, в которой еще на старом языке объяснены таинственные закономерности спектров. В 1924—1926 гг. рождается «настоящая» квантовая механика с принципом неопределенности. На очень важный вопрос: можно ли точно предсказать результат того или иного опыта — квантовая механика отвечает, что иногда ответ оказывается вероятностным. Еще 3—4 года, и последовательное применение квантовой теории дает полное описание двойственного характера электромагнитного излучения. Теория объясняет сочетание волновых свойств света и его квантовых свойств.

Теория предсказывает существование античастицы электрона — позитрона. Естественное обобщение приводит к понятию антивещества. Всего 30 лет — и как изменились и обогатились наши знания о полях и частицах. Но создание квантовой физики — это только половина научной революции. Второй половиной является создание теории относительности. Это произошло за еще более короткий срок — с 1905 по 1916 гг.

Название «теория относительности» не очень удачно. По существу, речь идет об изменении взглядов на пространство и время, на ту сцену, на которой разыгрываются все физические и нефизические явления. Веками казалось очевидным, что существует трехмерное пространство, в котором царствуют законы геометрии, установленные еще древними греками. Кроме того, есть время — один общий для всего и всех режиссер событий. Казалось очевидным, что расстояние между двумя телами в данный момент времени есть абсолютная величина, существующая независимо от



способа наблюдения. То же самое, казалось, относится к интервалу времени между двумя событиями.

Однако в 1905 г. появилась идея, что пространство и время связаны между собой. В 1916 г. ее развитие привело к представлению, что законы геометрии меняются около тяжелых тел и в этом состоит объяснение тяготения — объяснение движения планет и падения яблока на землю.

Современники открытия квантовой физики и теории относительности сознавали их глубину и принципиальную важность. Но большинство из них не могло предвидеть, как развитие физики приведет к открытию ядерной (как ранее говорили атомной) энергии — благословения и проклятия XX в., надежды и смертельной угрозы для потомков.

Вернемся к физике XX в., а точнее — к истории физики. Научная революция 1900—1930 гг. (ее можно назвать тридцатилетней войной против обывательского «здорового смысла») дала прочную основу для понимания природы. На этой основе появилась не только ядерная физика, но и физика твердого тела, и современная лазерная оптика, и много другого. Если смотреть шире, то надо причислить сюда и химию — квантовую химию, и молекулярную биологию, включая генетику. Если смотреть дальше — астрономия получила надежную основу, стали понятны источники энергии звезд. Новые представления о пространстве и времени привели к пониманию Вселенной как целого, к пониманию того, что Вселенная не остается неизменной, к пониманию того, как именно она меняется, какие стадии проходит в своей эволюции.

Развитие науки и после 1930 г. не шло гладко. Возникали трудности и противоречия. Сегодня, более чем через 50 лет, можно попытаться дать обобщенную картину драмы идей.

Творцы научной революции (А. Эйнштейн, Н. Бор, В. Гейзенберг, П. А. М. Дирак, ...) готовы были ее продолжать. Не остывшие от споров и дискуссий, утверждающих кванты и относительность, они готовы были к еще более радикальным поворотам. В этот период Бор говорит про некую не очень удачную работу «Эта теория недостаточно сумасшедшая, чтобы быть правильной». В этом высказывании — сгусток воспоминаний о том, как называли сумасшедшей

квантовую теорию, а Бор защищал ее и добился успеха.

Но в том и состоит изменение в науке, произошедшее после 1930 г.: призывы к «еще более сумасшедшим теориям» оказались неуместными, повисли в воздухе и отпали. Появилось новое поколение физиков-теоретиков. Называть имена тем труднее, чем ближе мы подходим к настоящему времени. Важно то, что это поколение многочисленно и в нем ни один отдельно взятый человек не занимает такого положения, какое занимал Эйнштейн в 1905—1920 гг. или Бор в 1916—1930 гг. Новое поколение после рубежа 1930 г. воспринимало квантовую теорию относительности не как собрание парадоксов и не как предмет дискуссий. Кванты и относительность для них — и для нас! — это солидные, проверенные и подтвержденные теории, это рабочие орудия. Вспоминаются слова поэта:

«Вперед, мой стих, мой верный вол,  
Неволей, если не охотой,  
Я близ тебя, мой кнут тяжел,  
Я сам тружусь, и ты работай».

(С. Кирсанов)

Физика за 50 лет, фундаментальная физика между 30-ми гг. и сегодняшним днем — это огромный коллективный труд ученых, огромные технические достижения, воплощенные в гигантских ускорителях, десятки и сотни тысяч экспериментальных и теоретических статей. Современная физика расширила и изменила набор элементарных частиц и полей. В 30-е гг. были известны только протоны, нейтроны, электроны и нейтрино (и их античастицы), электромагнитное и гравитационное поля. Сейчас мы уверенно говорим о 18 сортах кварков и 6 сортах лептонов, о 12 типах полей, подобных электромагнитному. Предположительное число элементарных частиц и полей — больше 100. Устанавливается сходство между различными частицами — физики более точно говорят о симметрии различных частиц. Однако без изменения остаются те самые общие принципы, которым подчиняется весь пестрый мир частиц: незыблемы квантовая теория и теория относительности.

Именно период после 1983 г. наиболее подходит для подведения итогов. В Европейском центре ядер-

ных исследований (ЦЕРН) в Женеве в 1983 г. были открыты частицы Z и W («зет» и «дубль-ве»). Это частицы нового типа, во многом отличающиеся от известных ранее частиц. Экспериментаторы сумели выделить из миллиарда различных событий рождения частиц несколько десятков событий образования Z и W. Это — триумф эксперимента. Однако самое замечательное в этом открытии состоит в том, что теоретики за несколько лет совершенно точно предсказали массу, заряд и другие свойства Z и W. Так что это триумф и теории. Эту теорию мы будем излагать ниже, пока отметим только, что речь идет о теории, принципиально основанной на квантах и относительности. Естественно, что те объекты, к которым прилагаются квантовые законы, неузнаваемо усложнились по сравнению с 1925 или 1930 гг.

Впереди видны дальнейшие задачи, которые можно и нужно решать на основе квантовой теории и теории относительности.

Означает ли это, что физика вступила в некий заключительный период количественного накопления фактов и теорий без дальнейшего качественного изменения основ? Нет, такой огорчительный вывод был бы неправилен. Пятидесятилетняя «передышка» в смене принципов (заполненная, однако, огромным трудом), вероятно, окончится вместе с окончанием XX в., а может быть, и раньше.

Любопытно, что к предсказанию этой грядущей научной революции «приложил руку» Планк в 1900 г. Мы уже упоминали, что он ввел понятие кванта, как определенного количества энергии, испускаемого при излучении. Он связал это количество с частотой света (числом колебаний в одну секунду) формулой  $E = hv$ .

Так как энергия и частота имеют различную размерность, т. е. измеряются в различных единицах, то коэффициент пропорциональности  $h$ , так называемая постоянная Планка, имеет определенную размерность:  $h = 6,63 \cdot 10^{-27}$  г·см<sup>2</sup>/с<sup>\*</sup>). Планк сразу понял, что  $h$

---

\*) В физике удобно пользоваться круговой частотой  $\omega$ . Представим себе равномерно вращающееся тело. Предположим, что оно делает один оборот за  $T$  секунд. Значит, за каждую секунду тело совершает  $\nu$  оборотов, где  $\nu = 1/T$ . Если на теле в одном месте ставится метка, то эта метка будет появляться перед нашими глазами с частотой  $\nu$ , т. е.  $\nu$  раз в секунду. С другой стороны, можно ввести угловую скорость вращения

есть мировая постоянная,  $\hbar$  имеет одно и то же значение всегда и везде. Величина  $\hbar = h/2\pi$  с 1899 г. занимает в физике такое же положение, как и скорость света  $c = 3 \cdot 10^{10}$  см/с, как и гравитационная постоянная  $G = 6,7 \cdot 10^{-8}$  см<sup>3</sup>/(с<sup>2</sup>·г). Три величины,  $G$ ,  $c$  и  $\hbar$ , выражаются через три выбранные человеком для его удобства единицы — грамм, сантиметр, секунду. Можно выбрать естественные единицы массы, длины и времени, выражающиеся через  $G$ ,  $c$  и  $\hbar$ . Тогда единица массы равна  $(\hbar c/G)^{1/2} = 2 \cdot 10^{-5}$  г, единица длины  $\hbar^{1/2} G^{1/2} c^{-3/2} = 1,5 \cdot 10^{-33}$  см и единица времени  $\hbar^{1/2} G^{1/2} c^{-5/2} = 5 \cdot 10^{-44}$  с. Эти единицы называются *планковскими*. Они характеризуют масштабы, в которых гравитация объединяется с квантовой физикой. Обратите внимание на единицу массы. Эта величина гигантски больше массы протона (в  $10^{19}$ , т. е. в миллиарды миллиардов раз). Долгое время казалось, что такое различие означает, что планковская масса не имеет отношения к миру элементарных частиц.

То же относится и к роли тяготения. Из-за того, что всемирное тяготение действует на все частицы, что нет антигравитации, гравитация отдельных частиц складывается. И в больших масштабах, благодаря коллективности действия гравитации, именно она определяет движение макроскопических тел.

Роль гравитации наиболее существенна при больших плотностях (черные дыры) или в очень больших масштабах. Без гравитации невозможно понять ни закономерности движения и эволюции звезд, галактик, их скоплений и сверхскоплений, ни закономерности эволюции Вселенной в целом.

Но для отдельных частиц ситуация иная. Например, электрическое притяжение электрона к протону,

---

тела, выраженную как число радиан (радиан — единица угла, равная  $\sim 57$  градусам), на которое поворачивается тело за одну секунду. Удобство введения  $\omega$  состоит в том, что линейная скорость движения каждой точки тела равна  $v = \omega r$ , где  $r$  — расстояние от оси вращения. В этой формуле нет никакого числового множителя. Если ось вращения совпадает с осью координат  $Z$ , то координаты точки, находящейся на единичном расстоянии от оси, равны:  $x = \cos \omega t$ ,  $y = \sin \omega t$ . Легко найти связь  $\omega$  и  $v$ . Полный оборот соответствует повороту на  $2\pi$  радиан. Значит,  $T = 2\pi/\omega$ ,  $v = \omega/2\pi$ . Величину  $\omega$  принято называть круговой частотой. Если мы хотим связать энергию фотона с его круговой частотой, то получим  $E = \hbar\omega$ , где  $\hbar = h/2\pi$ . В настоящее время физики практически всегда пользуются именно величиной  $\hbar = 1,05 \cdot 10^{-27}$  г см<sup>2</sup>/с.

в атоме водорода в огромное число раз (в  $10^{40}$  раз) превышает силы всемирного тяготения в том же атоме. Как вывод — сравните со сказанным до этого — тяготение не играет роли в атомах, ядерных и «элементарно-частичных» (громоздкое, но точное прилагательное) процессах. Однако уже  $Z$  и  $W$  почти в 200 000 раз тяжелее электрона и в 100 раз тяжелее протона. Но и эти массы все еще очень малы по сравнению с планковской массой. И для взаимодействия  $Z$ - и  $W$ -частиц всемирное тяготение также не играет роли. В своих построениях на бумаге теоретики опережают экспериментаторов, уходят в недостижимую никакими ускорителями область энергий и говорят о частицах все более тяжелых, с массой, приближающейся к планковской массе. Вот здесь и понадобится, по-видимому, дальнейшее принципиальное развитие основ теории.

Почему именно планковская масса может сыграть роль рубежа? Дело в том, что она получена из сочетания постоянной тяготения и постоянной Планка (вместе со скоростью света). Но по теории относительности тяготение связано с изменением самого пространства и времени. Это изменение придется рассматривать в рамках квантовой теории.

До сих пор пространство и время были ареной физических (в частности, квантовых) процессов. При планковской массе частиц на соответствующих длинах и интервалах времени в самом пространстве и времени появятся квантовые свойства. Вступит в действие принцип неопределенности, необходимо будет вероятностное рассмотрение самих пространства и времени, их структуры.

Лабораторная физика очень далека от тех условий, когда могут осуществляться эти новые явления. Ей доступен только далекий низкоэнергетический предел теории таких явлений. Однако в космологии мы уже сейчас пытаемся анализировать процессы в «планковских» условиях. Сегодня таких процессов нет, но они могли иметь место на самой ранней стадии эволюции Вселенной. Тогда можно искать следы этих процессов в сегодняшнем мире так, как ищут окаменевшие скелеты и отпечатки древних вымерших животных и растений. Сегодня «физика на марше» — перед физикой стоят реальные ближайшие задачи, в том числе и задачи, прямо связанные с научно-техническим

прогрессом (чего мы здесь не касались). Физика имеет и стратегические далекие цели, в числе которых и развитие физики XX в. до ее логических пределов и создание будущей физики XXI в.

В нашем изложении драмы физических идей мы иногда пользуемся математическими понятиями вектора, производной и т. д. Эти понятия (излагаемые и в современных учебниках средней школы) позволяют более точно раскрыть суть некоторых проблем. Для удобства читателя, не имеющего под рукой школьных учебников, или для школьника, желающего получить представление и о математической стороне проблемы, в конце книги имеется математическое дополнение, позволяющее получить некоторое интуитивное представление об этих математических понятиях. Впрочем, основные сюжетные ходы драмы познания природы будут, мы надеемся, понятны и без этого.

Цель книги — именно показ драмы идей. Это история, но история крупными мазками, без точных дат и забытых героев, оказавшихся (часто несправедливо) в стороне от основных событий. Есть много книг по истории физики, уделяющих основное внимание приоритетным вопросам. Высшее счастье для автора такой книги — обнаружить какое-то указание, теорему, точку зрения в возможно более ранней работе. Такая находка действительно очень много говорит об авторе указания или теоремы, говорит о его прозорливости и таланте, о том, насколько далеко он ушел вперед по сравнению со своими современниками.

Однако в скрупулезно-точных книгах такого рода обычно умалчивается другая сторона дела. Ушедший слишком далеко вперед часто отрывается от современной науки и практически не оказывает влияния на современников и на общий, поступательный ход развития науки. Можно привести несколько очень характерных примеров.

1) Ньютон придерживался корпускулярной теории света, которая затем была как будто опровергнута. Поэтому вполне справедливо теория квантов (кусочков) света приписывается Планку и Эйнштейну, а не Ньютону.

2) Петр Леонидович Капица в юбилейном докладе справедливо отмечает огромные достижения Ломоносова. Вместе с тем, с естественной горечью, Капица отмечает, что работы Ломоносова оставались долгое

время неизвестными на Западе (отчасти потому, что после годов учения в Германии он не выезжал за границу) и не оказали влияния на общий ход развития науки.

3) После открытия и правильного истолкования излучения Вавилова — Черенкова, в старых фолиантах Хевисайда и Зоммерфельда были найдены расчеты излучения электрона, движущегося со сверхсветовой скоростью. Однако создали теорию этого излучения для реальных условий релятивистского электрона в жидкости именно И. М. Франк и И. Е. Тамм, и они вместе с П. А. Черенковым заслуженно получили Нобелевскую премию.

Между тем наша книга посвящена именно драме идей, посвящена развитию физики как целого. Смена основных направлений и общих убеждений (именно общих, т. е. большинства естествоиспытателей, особенно физиков, а не отдельных провидцев или невежд) — вот тема нашей книги. Это освобождает нас от кропотливых исторических изысканий. Однако такое намерение возлагает на нас гораздо более трудную задачу. Излагая общий ход идей, мы стараемся показать его логику, глубокие и неслучайные причины общих убеждений.

Таким образом, наша книга посвящена немногим, очень общим и принципиально важным проблемам в их историческом развитии.

Прежде всего это *атомизм*, идея построения всей многокрасочной картины мира из минимального набора строго одинаковых составных частей.

За этим следует *классическая теория поля*. Уже на уровне этой теории появляется важнейшее понятие заряда. Сперва речь идет об электрическом заряде, потом это понятие обогащается. Лишь после классической теории поля вводятся понятия *квантовой теории*. Наше глубокое убеждение состоит в том, что прямой переход к современной квантовой теории поля, игнорирующий классическую теорию, нецелесообразен. Он может экономить время молодого теоретика, стремящегося возможно скорее начать самостоятельные расчеты. Однако для нашего читателя, как мы его представляем себе, читателя, интересующегося драмой идей, — такой подход не годится. Только после изложения атомизма и классической теории поля

вводятся понятия квантовой физики. Они изменяют лицо атомизма.

Обычно подчеркивают принцип неопределенности и вероятностный характер квантовой теории. Но в атомной и ядерной физике на первый план выдвигаются другие особенности квантовой теории. Атом водорода имеет одно вполне определенное основное состояние; все атомы водорода в этом состоянии строго одинаковы. В этой тождественности всех квантовых систем данного типа, атома в данном состоянии, налицо резкое отличие от классических систем — планет, вращающихся вокруг Солнца.

Применяя квантовую теорию к электромагнитному полю, мы приходим к понятию *фотона* — частицы, которая рождается при излучении и исчезает при поглощении света.

Понятие элементарной частицы в XX в. претерпевает радикальное изменение. В древности и вплоть до XIX в. включительно неуничтожаемость и вечное существование были важнейшими свойствами частиц. В XX в. элементарные, т. е. простейшие, частицы могут рождаться, исчезать, превращаться одни в другие. В значительной мере те свойства, которые мы ранее приписывали частицам, теперь имеют заряды — определенные количественные характеристики частиц.

Далее развивается *теория слабого взаимодействия* — радиоактивности, связанной с излучением электронов, той самой, от которой зависит опасность ядерной (атомной) энергии. В очень упрощенной форме излагается связь, или, как принято говорить, *объединение* электромагнитного и слабого взаимодействия. Наконец, рассматривается структура и составные части протона и нейтрона, которые до недавнего времени считались образцами элементарных частиц. По причинам, разъясненным далее в тексте, эта теория имеет причудливое название *«квантовая хромодинамика»*. Оба вопроса — слабое взаимодействие и хромодинамика — гораздо более подробно и на более высоком (но и более трудном) уровне обсуждаются в замечательной книге Л. Б. Окуня *« $\alpha\beta\gamma$  ... Z»*.

Последняя часть книги посвящена краткому изложению идей *современной теории гравитации* — общей теории относительности и современных теоретических подходов к единому описанию всех фундаментальных сил природы. Это рассказ о тенденциях фундамен-



тальных исследований сегодняшнего дня, об идеях, бурно обсуждающихся в современных научных журналах. А такой рассказ в контексте нашего повествования с необходимостью обретает краткость газетного репортажа.

В основном тексте книги мы по возможности старались обходиться без формул и, в крайнем случае, писали простые алгебраические соотношения вроде  $E = \hbar\omega$ . Точная формулировка законов природы и, в частности, теория поля требует по крайней мере дифференциального и интегрального исчисления, в том числе для функций трех пространственных переменных и времени. Необходимые математические сведения кратко даны в Математическом дополнении, которое никак не может служить заменой учебникам и рассматривается нами как словарь, дающий некоторые представления об этих математических понятиях, приводятся точные формулировки законов электромагнитного поля и распространения электромагнитных волн.