

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

539.0

**СОЛЬВЕЕВСКИЕ КОНГРЕССЫ И РАЗВИТИЕ
КВАНТОВОЙ ФИЗИКИ *)***Нильс Бор*

Серия конгрессов, которые начались по дальновидной инициативе Эрнста Сольвея и продолжались под руководством основанного им Международного института физики, представляла собой уникальную возможность для физиков обсуждать фундаментальные проблемы, которые находились в центре их внимания в различные периоды. В силу этого Сольвеевские конгрессы во многих отношениях стимулировали современное развитие физики.

Тщательная запись докладов и дискуссий по ним на каждом из этих конгрессов станет в будущем наиболее ценным источником информации для тех исследователей истории науки, которые захотят получить представление о том, как разрешались новые проблемы, возникшие в начале нашего века. Постепенное выяснение этих проблем благодаря объединенным усилиям целого поколения физиков в последующие десятилетия не только сильно расширило наше проникновение в атомистическую структуру материи, но даже привело к новым взглядам на понимание физического эксперимента.

Как одному из тех, кто в этот период участвовал в некоторых из Сольвеевских конгрессов и имел личный контакт со многими участниками самых первых из них, мне было приятно принять приглашение рассказать кое-что о той роли, которую играли эти дискуссии для выяснения проблем, стоявших перед нами. Рассказывая об этом, я буду стараться представить эти дискуссии на фоне того многостороннего развития, которое испытала физика за последние пятьдесят лет.

I

Сама тема первого Сольвеевского конгресса в 1911 году — *Т е о р и я* *и з л у ч е н и я* *и* *к в а н т ы* — указывает, что было основным предметом дискуссий в те дни. Наиболее существенным успехом физики предыдущего столетия были, по-видимому, максвелловская электромагнитная теория, предложившая теперь широко известное объяснение явлений излучения, и статистическое толкование термодинамических принципов, вершиной которого явилось установление Больцманом связи между энтропией и вероятностью состояния сложной механической системы. Однако расчет

*) *N i e l s B o h r*, *The Solvay Meetings and the Development of Quantum Physics*. (Послание 12-му Сольвеевскому конгрессу в Брюсселе, в октябре 1961 г.) Опубликовано в *La Theorie Quantique des Champs*, Interscience Publishers, New York, 1962, а также в сборнике: *Niels Bohr, Essays 1958—1962 on Atomic Physics and Human Knowledge*, Interscience Publishers, a division of John Wiley & Sons, New York—London, 1963. Перевод С. Г. Суворова.

спектрального распределения плотности излучения в замкнутой полости при тепловом равновесии обнаружил неожиданные трудности, особенно ярко подчеркнутые точнейшим анализом Рэлея.

Поворотный пункт был достигнут Планком в первом году нашего столетия, когда он открыл универсальный квант действия, обнаруживший черты целостности в атомных процессах, совершенно чуждые идеям классической физики и превосходящие доктрину древних о предельной делимости материи. На этом новом фоне Эйнштейн сразу подчеркнул явные парадоксы, связанные с попытками детально описать взаимодействие между излучением и веществом; Эйнштейн не только привлек внимание к планковским идеям, использованным им при исследовании теплоемкости твердых тел при низких температурах, но в связи со своей собственной трактовкой фотоэлектрического эффекта ввел также идею о квантах света или фотонах, как носителях энергии и импульса в элементарных процессах излучения.

Фактически введение представления о фотонах означало возрождение старой, времен Ньютона и Гюйгенса, дилеммы о корпускулярной или волновой структуре света, которая, казалось бы, была уже решена в пользу волновой структуры появлением электромагнитной теории излучения. Ситуация была весьма своеобразна, так как определение энергии и импульса фотона через произведение планковской константы на частоту или же, соответственно, на волновое число, непосредственно относится к характеристикам волновой картины. Таким образом, мы были поставлены перед некоторым, еще не встречавшимся, типом соотношений дополнительности между различными фундаментальными понятиями классической физики. Изучение этих взаимоотношений выявило позже ограниченность области применимости детерминистического описания и потребовало существенно статистического подхода даже к самым элементарным атомным процессам.

Дискуссию на конгрессе открыл Лоренц. Он блестяще изложил аргументацию, основанную на классических идеях, ведущую к принципу равномерного распределения энергии по степеням свободы физической системы, включающей не только движение составляющих ее материальных частиц, но также и нормальные колебания электромагнитного поля, связанного с электрическим зарядом частиц. Эта аргументация, аналогичная рэлеевскому анализу теплового равновесного излучения, приводила, однако, к хорошо известному парадоксальному результату, согласно которому никакое тепловое равновесие невозможно, так как вся энергия системы будет постепенно передаваться электромагнитным колебаниям все более и более высоких частот.

Казалось, что единственный путь согласования теории излучения с принципами обычной статистической механики был предложен Джинсом. Он состоял в том, что экспериментальные условия следует относить не к реальному равновесию, а к квазистационарному состоянию, в котором образование высокочастотного излучения ускользает от наблюдения. Свидетельством остроты трудностей в теории излучения было зачитанное на конгрессе письмо лорда Рэлея, в котором он советовал внимательно обсудить предложение Джинса. Однако вскоре при более тщательном рассмотрении выяснилось, что аргументы Джинса нельзя было поддержать.

Доклады и дискуссии на конгрессе были во многих отношениях просто великолепными. Так, после докладов Варбурга и Рубенса об экспериментальных наблюдениях, подтверждающих планковский закон теплового излучения, сам Планк изложил аргументы, которые привели его к открытию кванта действия. Обсуждая трудности согласования этой новой особенности с системой понятий классической физики, он подчеркнул, что

существенным моментом было не введение новой гипотезы о кванте энергии, а скорее, видоизменение самого понятия действия, и выразил убеждение, что принцип наименьшего действия, который бы сохранил свою силу также и в теории относительности, может оказаться путеводной нитью дальнейшего развития квантовой теории.

В последующем докладе на конгрессе Эйнштейн подвел итоги многочисленным приложениям квантовой концепции и, в частности, рассмотрел основные аргументы, использованные в его объяснении аномалий теплоемкости при низких температурах. Обсуждение этих явлений содержалось в докладе Нернста, посвященном приложению квантовой теории к различным вопросам физики и химии; в этом докладе он специально рассмотрел свойства вещества при очень низких температурах. Чрезвычайно интересно вспомнить, как Нернст в своем докладе отметил, что хорошо известная теорема об энтропии при абсолютном нуле, важные приложения которой были найдены после 1906 года, оказались специальным случаем более общего закона, выведенного из теории квантов. Однако явление сверхпроводимости некоторых металлов при крайне низких температурах, об открытии которого доложил Камерлинг-Оннес, представляло хитрую загадку, объяснение которой было найдено лишь многие годы спустя.

Новую идею, получившую различное истолкование, представляла собой мысль Нернста о квантовании вращения молекул газа; со временем она получила превосходное подтверждение в измерениях тонкой структуры инфракрасных линий поглощения. Об аналогичном же применении квантовой теории было рассказано в докладе Ланжевена; ему удалось успешно развить теорию зависимости изменения магнитных свойств вещества от температуры; в этом докладе Ланжевен специально остановился на идее магнетона, предложенного Вейсом для объяснения замечательных количественных соотношений между величинами элементарных магнитных моментов атомов, полученных из анализа его измерений. Как показал Ланжевен, значение магнетона, по крайней мере приближенно, могло быть вычислено из предположения, что электроны в атомах вращаются с моментом импульса, соответствующим планковскому кванту.

Другие смелые и эвристические попытки выявления квантовых особенностей в других свойствах вещества были описаны Зоммерфельдом, который подробно исследовал образование рентгеновых лучей с помощью быстрых электронов, а также рассмотрел проблемы, связанные с ионизацией атомов при фотоэффекте и электронных соударениях. Говоря о последних проблемах, Зоммерфельд обратил внимание на сходство некоторых своих рассуждений с рассуждениями, изложенными в последней статье Гааза; Гааз пытался применить квантовые идеи к электрону, связанному в атомной модели в виде равномерно положительно наэлектризованной сферы; эта модель подобна модели Дж. Дж. Томсона. При этом Гааз получил циклические частоты того же порядка величины, что и частоты оптических спектров. Что касается его собственных взглядов, — добавил Зоммерфельд, — то вместо того, чтобы пытаться вывести планковскую константу из некоторых рассуждений, он скорее принял бы существование кванта действия в качестве основы для решения любых вопросов, касающихся структуры атомов и молекул. На фоне современных тенденций развития физики ясно, что это высказывание и в самом деле оказалось почти пророческим.

Хотя во время конгресса, конечно, не могло быть и речи об исчерпывающей трактовке всех проблем, возникших в связи с открытием Планка, все же на конгрессе было достигнуто единодушное мнение, что для физической науки раскрылись новые огромные перспективы. Несмотря на то, что оказался необходимым радикальный пересмотр оснований для

однозначного применения первичных физических понятий, всех ободряло то, что именно в эти годы была очень ярко продемонстрирована устойчивость физического фундамента благодаря новому триумфу классического подхода при определении свойств разреженных газов и использовании статистических флуктуаций для подсчета числа атомов. Соответствующие, подробно аргументированные доклады, посвященные этим достижениям, были сделаны на конгрессе Мартином Кнудсеном и Жаном Перреном.

Живое представление о дискуссиях на первом Сольвеевском конгрессе я получил от Резерфорда при встрече с ним в Манчестере, вскоре после его возвращения из Брюсселя. Однако, как я установил только спустя несколько месяцев при просмотре отчета о заседаниях, Резерфорд ничего не сообщил мне о том, что в ходе дискуссий на конгрессе не было упомянуто самое новейшее событие, которому суждено было оказать столь глубокое влияние на последующее развитие, а именно, его собственное открытие атомного ядра. Действительно, обобщая весьма неожиданным образом данные о структуре атома, которая поддается истолкованию в простых механических понятиях, и в то же время обнаруживая неадекватность таких понятий для любых проблем устойчивости атомных систем, открытие Резерфорда должно было не только служить руководством, но и оставаться стимулирующим фактором на позднейших стадиях развития квантовой физики.

II

Следующий Сольвеевский конгресс в 1913 году был посвящен проблеме — **Строение вещества**. Самой важной новой информацией на нем была информация об открытии дифракции рентгеновых лучей в кристаллах, сделанном Лауэ в 1912 году. Это открытие устранило все сомнения в том, что этому проникающему излучению следует приписать волновые свойства. Корпускулярные же черты этого излучения при его взаимодействии с веществом, как это особенно подчеркивал Вильям Брэгг, весьма выразительно иллюстрировалось на снимках в камере Вильсона, показывающих треки быстрых электронов, освобождаемых при поглощении излучения в газах. Как хорошо известно, открытие Лауэ явилось прямым толчком к блестящим исследованиям кристаллических структур Вильямом и Лоуренсом Брэггами, которые, анализируя отражение монохроматического излучения от различных сечений плоскопараллельных конфигураций атомов в кристаллической решетке, сумели определить как длину волны излучения, так и тип симметрии решетки.

Обсуждению этих вопросов, составивших главный предмет работы конгресса, предшествовал доклад Дж. Дж. Томсона, изложившего остроумные концепции, касающиеся электронной структуры атомов; с помощью этих концепций, не отступая от классических физических принципов, Томсон смог объяснить, по крайней мере качественно, многие общие свойства вещества. Это бросает свет на общие взгляды физиков, в то время еще не оценивших принципиального значения открытия Резерфордом ядерной структуры атома, которое было существенной основой для таких исследований. Единственное упоминание об этом открытии сделал сам Резерфорд, который в дискуссии, следовавшей за докладом Томсона, указал на достаточное количество и точность экспериментальных данных, подтверждающих ядерную модель атома.

Фактически за несколько месяцев до открытия конгресса была опубликована моя первая статья о квантовой теории строения атомов. В этой статье были сделаны первые попытки использовать атомную модель Резерфорда для объяснения характерных свойств элементов, зависящих

от электронов, окружающих ядро. Как уже отмечалось, этот вопрос представлял непреодолимые трудности, если рассматривать его с помощью обычных идей механики и электродинамики, согласно которым никакая система точечных зарядов не допускает устойчивого статического равновесия, а любое движение электронов вокруг ядра привело бы к рассеянию энергии посредством электромагнитного излучения, сопровождаемого быстрым сжатием электронных орбит до нейтральной системы гораздо меньшей величины, чем величина атомов, вычисленная из общих физических и химических данных. Поэтому такая ситуация приводила к мысли, что рассмотрение проблем устойчивости должно опираться непосредственно на особый характер атомных процессов, демонстрируемый открытием кванта действия.

Исходный пункт был подсказан эмпирическими закономерностями, обнаруженными в оптических спектрах элементов, которые, как это впервые установил Ридберг, могли быть выражены посредством комбинационного принципа, согласно которому частота любой спектральной линии может быть с большой точностью представлена в виде разности между двумя членами серии термов, характеризующих элемент. Отправляясь непосредственно от эйнштейновской трактовки фотоэффекта, можно было истолковать комбинационный закон как результат элементарного процесса, в котором атом, испуская или поглощая монохроматическое излучение, переходит из одного, так называемого стационарного, состояния атома в другое. Этот взгляд, позволивший отождествить произведение планковской константы на любой из спектральных термов с энергией связи электронов в соответствующем стационарном состоянии, приводил также к простому объяснению соотношения между линиями испускания и поглощения в спектральных сериях, весьма прихотливого на первый взгляд. Это объяснение состояло в том, что обычно мы имеем дело в первом случае с переходом из возбужденного состояния атома в некоторое состояние с более низким уровнем энергии, а в случае поглощения — с процессом перехода из нижнего состояния с наименьшей энергией к одному из возбужденных состояний.

Изображая такие состояния электронной системы условно в виде планетарных движений, подчиняющихся закону Кеплера, мы получаем возможность вывести константу Ридберга путем соответствующего сравнения с исходным планковским выражением для энергетических состояний гармонического осциллятора. Тесная связь с атомной моделью Резерфорда в не меньшей степени проявилась в простой связи между спектром водородного атома и спектром иона гелия; общность этих случаев обусловлена тем, что эти системы состоят из одного электрона, связанного с небольшим по размеру ядром, обладающим соответственно одним или двумя элементарными зарядами. В этой связи интересно напомнить, что как раз во время самого конгресса Мозели изучал высокочастотные спектры элементов методом Лауэ — Брэгга и уже нашел замечательно простые законы, которые не только позволили установить заряд ядра любого элемента, но даже дали первое прямое указание на оболочечную структуру электронной конфигурации в атоме, обуславливающую характерную периодичность, проявляющуюся в знаменитой таблице Менделеева.

III

Международное научное сотрудничество было прервано первой мировой войной и Сольвеевские конгрессы не возобновлялись до весны 1921 года. Очередной конгресс, посвященный теме: *А т о м ы и э л е к т р о н ы*, открыл Лоренц ярким обзором принципов классической электронной

теории, которая, в частности, объяснила существенные черты зееман-эффекта, прямо указав на движение электронов в атоме как на причину появления спектров.

Следующим докладчиком был Резерфорд. Он подробно рассказал о многочисленных явлениях, которые к тому времени получили весьма убедительную интерпретацию на основе его атомной модели. Не говоря уже о непосредственном объяснении существенных черт радиоактивных превращений и наличия изотопов, предсказанных моделью, применение квантовой теории к электронной оболочке в атоме привело к значительным успехам. В частности, более полная классификация стационарных квантовых состояний, полученная с помощью инвариантов интегралов действия, привела в руках Зоммерфельда и его школы к объяснению многих деталей в структуре спектров и, в частности, к объяснению эффекта Штарка, открытие которого определенно исключало возможность свести явление линейных спектров к гармоническим колебаниям электронов в атоме.

В последующие годы действительно стало возможно благодаря продолжавшемуся изучению высокочастотных и оптических спектров Зигбаном, Каталаном и другими прийти к подробной картине распределения электронов по оболочкам в основном состоянии атома, которая явно отражала черты периодичности в соответствии с таблицей Менделеева. Эти успехи связаны с выяснением нескольких существенных вопросов, таких, как принцип Паули о взаимном исключении эквивалентных квантовых состояний и открытие спина электрона, вызывающего нарушение центральной симметрии в состояниях электронной оболочки, необходимое для объяснения аномального эффекта Зеемана на основе атомной модели Резерфорда.

Пока эти теоретические идеи еще созревали, на конгрессе были сделаны доклады о новых экспериментальных успехах, касающихся существенных особенностей взаимодействия между излучением и веществом. Так, Морис де Бройль рассказал о некоторых из наиболее интересных эффектов, с которыми он столкнулся в своих экспериментах с рентгеновыми лучами; в частности, им была обнаружена связь между процессами поглощения и испускания, аналогичная той, которая имеет место в оптических спектрах. Кроме того, Милликен доложил о продолжении своих систематических исследований фотоэлектрического эффекта, которые, как это хорошо известно, привели к более точному экспериментальному определению планковской константы.

Фундаментальный вклад в обоснование квантовой теории был сделан еще во время войны Эйнштейном. Эйнштейн показал, как планковская формула излучения может быть просто выведена на основе того же самого предположения, которое оказалось весьма плодотворным для объяснения спектральных закономерностей и нашло убедительное подтверждение в известных опытах Франка и Герца по возбуждению атомов электронной бомбардировкой. Остроумная эйнштейновская формулировка общих вероятностных законов для спонтанных радиационных переходов между стационарными состояниями, а также для переходов, индуцированных излучением, и в равной мере — его анализ сохранения энергии и импульса в процессах испускания и поглощения, оказались основными для будущего развития квантовой теории.

Во время конгресса наметился успех в использовании общих аргументов для сохранения термодинамических принципов и асимптотического описания классических физических теорий в предельном случае, когда рассматриваемые действия достаточно велики, чтобы можно было пренебречь отдельным квантом. В первом аспекте Эренфест ввел принцип адиабатической инвариантности стационарных состояний. Этот принцип потребовал формулировки так называемого принципа соответствия, ко-

торый сразу же оказался руководящим для качественного исследования различных атомных явлений; целью его введения было показать, что статистическое описание индивидуальных квантовых процессов является рациональным обобщением детерминистического описания классической физики.

В связи с этим я был приглашен сделать общий обзор новых достижений квантовой теории, но болезнь помешала мне принять участие в работе конгресса, и Эренфест любезно согласился изложить мою статью, к которой он добавил очень ясное резюме существенных моментов аргументации принципа соответствия. Благодаря тому, что для Эренфеста характерен острый критический подход, наряду с дружеской поддержкой любого, даже самого скромного успеха, его изложение правильно отразило состояние наших идей в это время, так же как и ощущение приближения решающего успеха.

IV

Как много еще предстояло сделать прежде, чем могли быть развиты соответствующие методы для более исчерпывающего описания свойств вещества, стало ясно из дискуссии на следующем Сольвеевском конгрессе в 1924 году, посвященном проблеме *Проводимости металлов*. Обзор тех возможностей, с помощью которых эта проблема могла бы быть рассмотрена на основе принципов классической физики, был дан Лоренцом. В серии известных работ он выяснил, к каким следствиям приводят предположения о том, что электроны в металлах ведут себя как газ, подчиняющийся максвелловскому закону распределения скоростей. Несмотря на то, что в начале такое рассмотрение имело успех, постепенно появился ряд сомнений относительно адекватности принятых гипотез. Эти трудности усугубились в ходе дискуссии на конгрессе, где доклады о новых экспериментальных исследованиях были сделаны такими специалистами, как Бриджмен, Камерлинг-Оннес, Розенгейм и Холл; теоретический аспект проблемы был изложен главным образом Ричардсоном, который попытался применить квантовую теорию, подобно тому как это делалось в атомных проблемах.

Однако уже в ходе конгресса стало совсем очевидным, что даже такое ограниченное использование механической картины, какое еще сохранялось принципом соответствия, нельзя было отстоять в случае более сложных проблем. Оглядываясь на то время, действительно интересно напомнить, что уже тогда стали появляться результаты, которые имели огромное значение для будущего. Так, в 1923 году Артур Комптон обнаружил изменение частоты рентгеновых лучей при рассеянии на свободных электронах; как он сам, так и Дебай подчеркнули, что это открытие подтверждает эйнштейновскую концепцию фотонов, несмотря на возросшие трудности описания соотношения между процессами поглощения и испускания фотонов электронами тем простым способом, который был принят для интерпретации атомных спектров.

Однако в течение года эти проблемы были представлены в новом свете Луи де Бройлем, который удачно сопоставил движению частицы распространение волны; это сопоставление вскоре нашло блестящее подтверждение в экспериментах Дэвисона и Гермера, а также Джорджа Томсона, по дифракции электронов в кристаллах. Мне нет необходимости подробно напоминать о том, как оригинальная идея де Бройля стала в руках Шредингера основой для установления общего волнового уравнения, которое благодаря новым высоко развитым методам математической физики оказалось мощным инструментом исследования многообразных атомных проблем.

Как всем известно, в 1924 году Крамерс положил начало другому подходу к фундаментальным проблемам квантовой физики; за месяц до конгресса он успешно развил общую теорию рассеяния излучения атомными системами. Обращение к рассеянию всегда составляло существенную часть классического подхода к проблемам излучения; интересно напомнить, что сам Лоренц неоднократно обращал внимание на отсутствие такого ведущего принципа в квантовой теории. Однако, опираясь на принцип соответствия, Крамерс показал, как эффект рассеяния мог бы быть поставлен в прямую связь с законами, сформулированными Эйнштейном для вероятностей спонтанного и индуцированного излучения в индивидуальном процессе.

Фактически оказалось, что в теорию рассеяния, развитую позже Крамерсом и Гейзенбергом, включались новые эффекты, вызванные возмущениями состояний атомных систем, обусловленными электромагнитными полями; именно здесь Гейзенберг нашел опору для развития формализма квантовой механики, из которого были уже полностью устранены ссылки на классическую картину, за исключением асимптотического соответствия. Благодаря работам Борна, Гейзенберга и Иордана, а также Дирака, эта смелая и остроумная концепция привела вскоре к общей формулировке, в которой классические кинематические и динамические переменные были заменены символическими операторами, подчиняющимися некоммутативной алгебре, включающей планковскую константу.

Соотношение между подходами Гейзенберга и Шредингера к проблемам квантовой теории и исчерпывающее истолкование формализма теории вскоре были весьма убедительно выяснены Дираком и Иорданом с помощью канонических преобразований переменных, в духе оригинальной гамильтоновской трактовки классических проблем механики. В частности, такой анализ оказался полезным для выяснения очевидного контраста между принципом суперпозиции в волновой механике и постулатом об индивидуальности элементарных квантовых процессов. Дирак успешно применил эти соображения к проблемам электромагнитного поля и, используя амплитуды и фазы составляющих гармонических компонент в качестве сопряженных переменных, развил квантовую теорию излучения, в которую было естественно включено эйнштейновское понятие фотона. Все это революционное развитие должно было образовать фон для следующего конгресса, который был первым из сольвеевских конгрессов, в работе которого я имел возможность участвовать.

V

Конгресс 1927 года, темой которого были **Э л е к т р о н ы и ф о т о н ы**, открылся докладами Лоуренса Брэгга и Артура Комптона о новых обширных экспериментальных исследованиях, относящихся к рассеянию высокочастотного излучения электронами. Это рассеяние оказалось весьма различным в тех случаях, когда электроны прочно связаны в кристаллических структурах тяжелых веществ и когда они практически свободны в атомах легких газов. За этими докладами следовали весьма поучительные сообщения Луи де Бройля, Борна и Гейзенберга, а также Шредингера, о больших успехах, касающихся последовательной формулировки квантовой теории, о чем я уже упоминал.

Главной темой дискуссии был отказ от наглядного детерминистического описания, обусловленный новыми методами. Особо рассматривался вопрос о том, насколько волновая механика предоставляла возможность менее радикального отхода от обычного физического описания, по сравнению с теми приемами, которые применялись до тех пор при попытках реше-

ния парадоксов, возникавших с момента открытия кванта действия. Однако существенно статистический характер интерпретации физического опыта посредством волновой трактовки был ясен не только из успешной трактовки problem столкновений Борном. Символический характер всей концепции, может быть, наиболее разительно проявился в необходимости замены обычного координатного трехмерного пространства представлением состояния системы из нескольких частиц в виде волновой функции в конфигурационном пространстве с числом координат, равным числу степеней свободы системы.

Последний пункт привлек особое внимание в дискуссии в связи с большим прогрессом в трактовке систем, состоящих из частиц с одинаковыми массой, зарядом и спином; в случае таких «тождественных» частиц было обнаружено ограниченное проявление той индивидуальности частицы, которая подразумевается в классической корпускулярной концепции. Указание на наличие таких новых черт поведения электронов содержалось уже в формулировке принципа исключения Паули. В связи с корпускулярной концепцией кванта излучения Бозе даже значительно раньше обратил внимание на возможность простого вывода формулы Планка для теплового излучения с помощью статистики, которая подразумевала отказ от пути, предложенного Больцманом для расчета числа состояний системы многих частиц, хотя адекватность этого пути была надежно доказана многочисленными приложениями классической статистической механики.

Решающий вклад в трактовку атомов, обладающих более чем одним электроном, был сделан еще в 1926 году Гейзенбергом, объяснившим характерную двойственность спектра гелия, которая на протяжении многих лет оставалась одним из главных препятствий для квантовой теории атомной структуры. Исследуя свойства симметрии волновой функции в конфигурационном пространстве, и используя соображения, высказанные независимо Дираком и развитые затем Ферми, Гейзенберг показал, что стационарные состояния атомов гелия распадаются на два класса, соответствующие двум некомбинируемым между собой рядам спектральных термов, которые представляются симметричными и антисимметричными пространственными волновыми функциями, связанными соответственно с противоположными и параллельными ориентациями спинов электронов.

Едва ли нужно напоминать о том, как это замечательное достижение положило начало настоящей лавине новых результатов и как на протяжении года аналогичная трактовка Гейтлером и Лондоном электронной структуры молекулы водорода дала ключ к пониманию неполярных химических связей. Более того, аналогичные соображения о волновых функциях протонов вращающейся водородной молекулы привели к тому, что спин был приписан и протону, а в связи с этим — к пониманию того, что надо различать между орто- и пара-состояниями, что, как показал Деннисон, разъяснило таинственные до того времени аномалии в теплостоях водородного газа при низких температурах.

Высшим выражением этих результатов явилось признание двух семейств частиц, ныне называемых фермионами и бозонами. Таким образом, любое состояние системы, состоящей из частиц с полуцелым спином, вроде электронов или протонов, должно быть представлено волновой функцией, антисимметричной в том смысле, что она меняет свой знак, когда две частицы одного и того же рода взаимно обмениваются местами. Наоборот, для фотонов, которым согласно теории излучения Дирака должен быть приписан спин, равный единице, должна рассматриваться только симметричная волновая функция (так же как и объектам с нулевым спином, вроде альфа-частиц).

Вскоре Мотт великолепно продемонстрировал применение этого результата, объяснив заметное отклонение от известной резерфордской формулы рассеяния в случае столкновений между идентичными частицами, такими, как альфа-частицы и ядра гелия или протоны и водородные ядра. Такое применение математического аппарата фактически показало нам не только неадекватность орбитальной картины, но даже заставило отказаться от различения частиц. В самом деле, всякий раз, когда привычные идеи об индивидуальности частиц пытаются применять, устанавливая нахождение частиц в выделенной области пространства, это не оказывает никакого влияния на статистики Ферми—Дирака и Бозе—Эйнштейна в том смысле, что они все равно приводят к одному и тому же выражению для плотности вероятности частиц.

Всего лишь за несколько месяцев до конгресса Гейзенберг сделал наиболее важный вклад в разъяснение физического содержания квантовой механики, сформулировав так называемый принцип неопределенности, выражающий взаимное ограничение определения канонически сопряженных переменных. Это ограничение появляется не только как непосредственное следствие перестановочных соотношений между такими переменными, но оно также прямо отражает взаимодействие между системой, над которой производится наблюдение, и измерительными приборами. Полное признание последнего утверждения, носящего принципиальный характер, поднимает, однако, вопрос об области однозначного применения классических физических понятий при объяснении атомных явлений.

Чтобы открыть дискуссию по этим вопросам, меня просили сделать на конгрессе доклад по эпистемологическим проблемам, возникавшим в квантовой физике; я воспользовался удобным случаем, чтобы обсудить вопрос о подходящей терминологии и разъяснить точку зрения дополнителности. Главным аргументом было то, что однозначная информация о физических наблюдениях требует, чтобы описание экспериментального устройства, так же как и регистрация наблюдений, производилось обычным языком, разумным образом очищенном в духе терминологии классической физики. Во всех реальных экспериментах это требование реализуется применением в качестве измерительных инструментов таких предметов, как диафрагмы, линзы, фотопластинки. Эти предметы настолько велики и тяжелы, что, несмотря на решающую роль кванта действия для их устойчивости и свойств, при определении их положения и движения можно пренебречь всеми квантовыми эффектами.

В области классической физики мы исходим из идеализации, согласно которой все явления могут быть произвольно подразделены, а взаимодействием между измерительными приборами и наблюдаемым объектом можно пренебречь или, по крайней мере, его можно скомпенсировать. В дискуссии на конгрессе было подчеркнуто, что в квантовой физике взаимодействие между наблюдаемым объектом и измерительным прибором представляет собой неразрывную часть явления, для которой не может быть дано самостоятельного описания, если назначение приборов состоит в определении условий, при которых получают наблюдения. В этой связи следует также напомнить, что запись о наблюдении в конечном счете сводится к созданию устойчивых отметок на измерительных приборах, например, пятен, возникших на фотопластинке при ударе фотона или электрона. То, что такая запись включает в себя существенно необратимые физические и химические процессы, не приводит к каким-либо осложнениям, а скорее подчеркивает, что элемент необратимости подразумевается в самом понятии наблюдения. Новая характерная черта квантовой физики состоит только в ограничении делимости явлений, для однозначного описания которых требуется указание существенных частей экспериментальной установки.

Поскольку в одной и той же установке, вообще говоря, можно получать различные результаты, обращение к статистике в квантовой физике в принципе неизбежно. Более того, наблюдения, полученные в различных условиях, исключающих их трактовку в единой картине, несмотря на кажущуюся несовместимость, должны рассматриваться как дополнительные в том смысле, что совместно они исчерпывают всю строго определенную информацию об атомном объекте. С этой точки зрения задача математического аппарата квантовой теории состоит в том, чтобы определить математические ожидания для наблюдений, производимых в заданных экспериментальных условиях. В этой связи было указано, что разрешение всех противоречий обеспечивается математической согласованностью аппарата и исчерпывающим характером описания в той области, в которой он применим к любому воображаемому экспериментальному устройству.

По этим вопросам состоялась весьма оживленная дискуссия, которой руководил Лоренц с присущей ему откровенностью и сдержанностью, стремясь вести ее в плодотворном направлении. Большие трудности для согласованного обсуждения эпистемологических проблем создавала неясность терминологии. Эту ситуацию юмористически отразил Эренфест, выписав на доске цитату из библии, в которой описывалось смешение языков, нарушившее строительство Вавилонской башни.

Начавшийся на заседании обмен мнениями оживленно продолжался и по вечерам в небольших группах. Наиболее приятной для меня была возможность вести долгие беседы с Эйнштейном и Эренфестом. Эйнштейн принципиально возражал против отказа от детерминистического описания; он оспаривал наши аргументы, допуская возможность более точного учета взаимодействия между атомными объектами и измерительными приборами. Наши доводы, обосновывающие безнадежность этой перспективы, не убедили Эйнштейна, и он вновь вернулся к этой проблеме на следующем конгрессе. Однако эти дискуссии вызвали дальнейшие исследования проблем анализа и синтеза в квантовой физике, а также их аналогов в других областях человеческого знания, в которых обычная терминология привлекает внимание, к условиям, при которых производится опыт.

VI

На конгрессе 1930 года впервые председательствовал Ланжевен. Лоренца уже не было в живых. Ланжевен сказал несколько слов о потере, понесенной Сольвеевским институтом вследствие кончины Эрнста Сольвея, чья инициатива и великодушные позволили создать институт. Президент подробно обрисовал, как замечательно Лоренц руководил всеми предыдущими Сольвеевскими конгрессами, и с какой огромной энергией продолжал он свои блестящие научные исследования до последних дней.

Темой конгресса были Магнитные свойства вещества, для понимания которых сам Ланжевен сделал столь важный вклад и экспериментальное изучение которых значительно расширилось как раз в те годы, особенно благодаря исследованиям Вейса и его школы.

Конгресс открылся докладом Зоммерфельда о магнетизме и спектроскопии; в этом докладе он, в частности, обсуждал те сведения о моменте импульса и магнитных моментах, которые были получены из исследований электронной структуры атомов, позволившей объяснить таблицу Менделеева. Что касается интересного пункта о своеобразной вариации магнитных моментов в семействе редкоземельных элементов, то Ван-Флек доложил о последних результатах и их теоретической интерпретации. Ферми сделал доклад о магнитных моментах атомных ядер, для которых, как это

впервые подчеркнул Паули, следовало выяснить причину появления сверхтонкой структуры спектральных линий.

Общий обзор быстро возрастающих экспериментальных данных о магнитных свойствах вещества был сделан в докладах Кабреры и Вейса, которые рассмотрели уравнение состояния ферромагнитных материалов, охватывающее скачкообразные изменения свойств таких веществ при определенных температурах, аналогичных точке Кюри. Несмотря на более ранние попытки установления связи таких эффектов, особенно путем введения Вейсом внутреннего магнитного поля, обуславливающего ферромагнитное состояние, ключ к пониманию этих явлений был найден лишь недавно Гейзенбергом. Гейзенберг провел оригинальное сопоставление упорядочения электронных спинов в ферромагнитных веществах с квантовой статистикой, управляющей свойствами симметрии волновых функций, ответственных за химическую связь в теории молекулярных соединений Гейтлера и Лондона.

Исчерпывающее изложение теоретической трактовки магнитных явлений было дано на конгрессе в докладе Паули. С характерной для него ясностью и умением выделить существенное, он рассмотрел также проблемы, выдвинутые Дираком в его остроумной квантовой теории электрона. В этой теории предложенное Клейном и Гордоном релятивистское волновое уравнение было заменено системой уравнений первого порядка, допускающих естественное объединение спинового и магнитного момента электрона. В этой связи специально обсуждался вопрос о том, в какой мере можно рассматривать спин и магнитный моменты электрона, как измеримые в том же смысле, что и масса и заряд электрона, определение которых покоится на рассмотрении явлений, полностью описываемых посредством классической терминологии. Однако всякое последовательное применение самого понятия спина, так же как и кванта действия, относится к явлениям, не поддающимся такому анализу, в частности, понятие спина является абстракцией, допускающей обобщенную формулировку закона сохранения момента импульса. Эта ситуация подтверждается невозможностью измерения магнитного момента свободного электрона, о чем во всех подробностях говорилось в докладе Паули.

О перспективах, которые современное развитие экспериментальной техники раскрыло для дальнейших исследований магнитных явлений, доложили на конгрессе Коттон и Капица. С помощью приборов, созданных Капицей, стало возможным создавать магнитные поля непревзойденной напряженности в ограниченных областях пространства и ограниченных интервалах времени. Коттон весьма искусно создал большие постоянные магниты, обеспечивающие поля, постоянство и занимаемый объем которых были больше того, что имелось до тех пор. В дополнение к докладу Коттона, мадам Кюри обратила особое внимание на использование таких магнитов для исследования радиоактивных процессов, которые благодаря работе Розенблума могли бы дать новые сведения, касающиеся тонкой структуры спектров альфа-излучения.

Хотя главной темой конгресса были явления магнетизма, интересно напомнить, что как раз к этому времени большой успех был достигнут в трактовке других свойств вещества. Так, многие из трудностей, препятствовавших пониманию электропроводности в металлах, столь остро ощущавшиеся на конгрессе 1924 года, к тому времени были уже преодолены. Уже в 1928 году Зоммерфельд, заменив максвелловское распределение электронов по скоростям распределением Ферми, получил наиболее надежные результаты в этом направлении. Как хорошо известно, на этой основе, применяя соответствующим образом волновую механику, Блох успешно развил детализированную теорию проводимости металлов,

объясняющую многие их особенности и, в частности, зависимость явлений от температуры. Всё же эта теория не могла объяснить сверхпроводимости, путь к пониманию которой был найден только в последние годы благодаря развитию тонких методов рассмотрения взаимодействий в системах многих тел. Такие методы оказались подходящими также и для объяснения недавно обнаруженных квантовых свойств сверхпроводящих токов.

Однако особое воспоминание от конгресса 1930 года связано с тем, что он представил благоприятную возможность подвести итог дискуссии по эпистемологическим проблемам, обсуждавшимся на конгрессе 1927 года. В связи с этим Эйнштейн привел новые аргументы, с помощью которых он стремился опрокинуть принцип неопределенности, используя эквивалентность энергии и массы, вытекающую из теории относительности. Так, он высказал предположение, что возможно определить с любой точностью энергию периодически испускаемого импульса излучения путем взвешивания аппарата, содержащего часы, связанные с затвором, высвобождающим импульс. Однако при более внимательном анализе этот кажущийся парадокс находит свое решение в том, что гравитационное поле оказывает влияние на ход часов, на основе которого сам Эйнштейн предсказал когда-то красное смещение в спектральном распределении света, испускаемого массивными небесными телами. И все же эта проблема, наиболее выразительно подчеркнувшая необходимость ясного различения в квантовой физике между объектами и измерительными приборами, оставалась на протяжении ряда лет предметом оживленных споров, особенно в философских кругах.

Этот конгресс, проходивший накануне того политического хода событий в Германии, которые вынудили Эйнштейна эмигрировать в Соединенные Штаты, был последним, в работе которого он принимал участие.

Незадолго перед следующим конгрессом, созданным в 1933 году, мы все были поражены известием о безвременной кончине Эренфеста. Его вдохновляющую роль в развитии физики в трогательных словах описал Ланжевэн, когда мы собрались снова.

VII

Конгресс 1933 года, специально посвященный теме *Структура и свойства атомного ядра*, был создан в то время, когда эта проблема находилась в стадии наиболее быстрого и богатого событиями развития. Конгресс был открыт докладом Кокрофта, в котором после краткого описания обширных наблюдений ядерных распадов при бомбардировке α -частицами (эти частицы исследовались в предыдущие годы Резерфордом и его сотрудниками) он подробно рассказал о новых важных результатах, достигнутых бомбардировкой ядер протонами, ускоренными высоковольтными установками до огромных скоростей.

Как хорошо известно, первые эксперименты Кокрофта и Уолтона по получению быстрых α -частиц бомбардировкой ядер лития протонами впервые дали прямое подтверждение эйнштейновской формулы для общего соотношения между энергией и массой, которое в последующие годы служило неизменным руководством в ядерных исследованиях. Более того, Кокрофт указал, насколько точно измерения зависимости сечений от скоростей протонов подтверждали предсказания волновой механики, к которым пришел Гамов в связи с теорией спонтанного α -распада, развитой им и другими. В докладе, включающем в себя все известные в то время данные, касающиеся так называемого искусственного расщепления ядра, Кокрофт сравнивал также результаты экспериментов в Кембридже по протонной бомбардировке с результатами произведенных в Беркли

экспериментов с дейтронами, ускоренными в циклотроне, только что сконструированном Лоуренсом.

Обсуждение следующей темы было начато Резерфордом. Выразив чувство большого удовлетворения, которое принесло ему новейшее развитие того, что он называл современной алхимией, Резерфорд сообщил о наиболее интересных результатах, которые он вместе с Олифантом только что получил путем бомбардировки лития протонами и дейтронами. Эти эксперименты принесли доказательство существования неизвестных до того времени изотопов водорода и гелия с атомными массами 3, свойства которых в наши годы привлекли столь большое внимание. Лоуренс, весьма детально описавший конструкцию своего циклотрона, подробно доложил о самых последних исследованиях группы в Беркли.

Огромное значение имел другой результат — открытие Чадвиком нейтрона. Это открытие самым драматическим образом подтвердило предвидение Резерфорда о тяжелых нейтральных составляющих атомного ядра. Чадвик начал доклад с описания планомерного исследования аномалий в рассеянии альфа-излучения в Кембридже, и закончил некоторыми соображениями о роли, которую играет нейтрон в структуре ядра, а также о его важной роли в возбуждении ядерных превращений. Еще до того, как на конгрессе были обсуждены теоретические аспекты, связанные с открытием нейтрона, участникам было сообщено о другом важном успехе, а именно, о так называемой искусственной радиоактивности, которая создается контролируемым распадом ядер.

Сообщение об этом открытии, сделанном только за несколько месяцев перед конгрессом, было включено в доклад Фредерика Жолио и Ирен Кюри; этот доклад содержал обзор многих аспектов их плодотворных исследований, в которых были обнаружены процессы β -распада с испусканием как положительных, так и отрицательных электронов. В дискуссии, последовавшей за этим докладом, Блеккет изложил историю открытия позитрона Андерсеном и им самим при исследовании космических лучей, и интерпретацию открытия в рамках релятивистской теории электрона Дирака. Фактически мы оказались перед началом новой стадии развития квантовой физики, имеющей дело с процессами рождения и аннигиляции материальных частиц, аналогичных процессам испускания и поглощения излучения, в которых рождаются и исчезают фотоны.

Как хорошо известно, исходным пунктом Дирака было утверждение, что его релятивистски инвариантная формулировка квантовой механики, примененная к электронам, содержала в себе, кроме вероятностей процессов перехода между обычными физическими состояниями, также и вероятности переходов из таких состояний в состояния с отрицательной энергией. Чтобы избежать такие нежелательные следствия, он выдвинул остроумную идею о так называемом дираковском фоне (море), в котором все состояния с отрицательной энергией заполнены в полном соответствии с принципом исключения эквивалентных стационарных состояний. В этой картине электроны рождаются парами; в каждой паре один электрон с обычным зарядом появляется из фона, в то время как другой с противоположным зарядом изображается «дыркой» в фоне. Как хорошо известно, эта концепция подвела нас к представлению об античастицах (т. е. о частицах с противоположным зарядом и с магнитным моментом, направленным обратно по отношению к направлению спина); наличие античастиц оказалось фундаментальным свойством вещества.

На конгрессе были обсуждены многие особенности радиоактивных процессов, а наиболее содержательный доклад был сделан Гамовым; это был доклад об интерпретации спектров гамма-излучения, опирающийся на его теорию спонтанного и индуцированного альфа-излучения и протон-

ной эмиссии и их связь с тонкой структурой спектров α -излучения. Особым пунктом, который горячо обсуждался, была проблема непрерывного спектра β -излучения. Исследования Эллиса по тепловому эффекту, производимому при поглощении испущенных электронов, казались просто несовместимыми с детальным балансом энергии и импульса в процессе β -распада. Более того, данные о спинах ядер, участвующих в процессе, казались противоречащими сохранению момента импульса. Чтобы избежать таких трудностей, Паули ввел смелую идею о том, что при β -распаде вместе с электронами испускается сильно проникающее излучение, состоящее из частиц с исчезающе малой массой покоя и полусцелым спином — из так называемых нейтрино; плодотворность этой идеи была доказана позже.

Вопрос о структуре и стабильности атомного ядра в целом рассматривался в более обширном докладе Гейзенберга. Исходя из принципа неопределенности, он очень ясно почувствовал зыбкость предположения о том, что на протяжении столь малой области, какую занимает атомное ядро, находятся столь легкие частицы, как электроны. Поэтому он сразу ухватился за открытие нейтрона, чтобы принять, что реальными составными частями ядра являются только протоны и нейтроны, и на этой основе дал объяснение многих свойств ядра. В частности, его модель подразумевала, что явление β -распада должно рассматриваться как доказательство рождения положительных или отрицательных электронов и нейтрино при высвобождении энергии, сопровождающем превращение нейтрона в протон, и наоборот. И в самом деле, вскоре после конгресса большой прогресс в этом направлении был достигнут Ферми; исходя из этих предположений, ставших в дальнейшем направляющими, Ферми развил последовательную теорию β -распада.

Центральной фигурой на Сольвеевском конгрессе 1933 года был, конечно, Резерфорд, как всегда с необыкновенной энергией принимавший участие во многих дискуссиях. Этот конгресс оказался последним, в котором он имел возможность участвовать. Он скончался в 1937 году. Его научная жизнь была на редкость плодотворной, и в истории физической науки трудно найти другой такой пример для сравнения.

VIII

Политические события, приведшие ко второй мировой войне, на многие годы нарушили регулярные сессии Сольвеевских конгрессов; они были возобновлены только в 1948 году. В те тревожные годы прогресс ядерной физики не ослабевал; он был даже доведен до практического использования внутренней энергии, заключенной в атомном ядре. Хотя серьезные осложнения в связи с этим прогрессом были у каждого на уме, никакого упоминания о них на конгрессе не было. Конгресс был посвящен проблеме **Э л е м е н т а р н ы е ч а с т и ц ы**, — области, в которой появились новые перспективы благодаря открытию частиц с массой покоя, лежащей между массами электрона и нуклона. Как хорошо известно, существование таких частиц, мезонов, было уже предсказано Юкавой прежде, чем они были обнаружены в космическом излучении Андерсеном в 1937 году; Юкава рассматривал их в качестве квантов полей с короткодействующими силами, которые возникают между нуклонами и весьма существенно отличаются от электромагнитных полей, изученных на ранней стадии развития квантовой физики.

Богатство этих новых аспектов проблемы частиц было как раз перед конгрессом раскрыто Пауэллом и его сотрудниками в Бристоле, которые систематически исследовали треки на фотопластинках, подвергавшихся

действию космического излучения, а также изучали эффекты соударений нуклонов, обладающих высокой энергией, впервые полученных на гигантском циклотроне в Беркли. Действительно, выяснилось, что такие соударения непосредственно приводили к рождению так называемых π -мезонов, которые в последующем распаде с испусканием нейтрино превращаются в μ -мезоны. В противоположность π -мезонам, μ -мезоны, как было выяснено, не обнаруживают тенденции к прочной связи с нуклонами и самопроизвольно распадаются на электроны с излучением двух нейтрино. На конгрессе подробные доклады о новых экспериментальных данных сопровождался весьма интересными комментариями, которые касались многих сторон их теоретической интерпретации. Однако, несмотря на обнадеживающие успехи в различных направлениях, возникло общее убеждение, что физика стоит перед началом эпохи, когда потребуются новые теоретические взгляды.

Особо обсуждался вопрос о том, как преодолеть трудности, связанные с появлением расходимостей в квантовой электродинамике, в частности, бросающейся в глаза в вопросе о собственной энергии заряженных частиц. Попытки разрешения проблемы путем переформулировки классической электронной теории, фундаментальной для трактовки в духе соответствия, явно терпели крах в силу того, что число сингулярностей зависит от вида квантовой статистики, которой подчиняются рассматриваемые частицы. Действительно, как впервые показал Вейскопф, число сингулярностей в квантовой электродинамике значительно уменьшалось в случае фермионов, в то время как в случае бозонов собственная энергия расходится даже еще сильнее, чем в классической электродинамике, в рамках которой, как уже подчеркивалось в дискуссиях конгресса 1927 года, все различия квантовых статистик просто несущественны.

Несмотря на радикальный отход от наглядного детерминистического описания, к которому мы пришли, основные особенности обычных идей причинности сохраняются в духе принципа соответствия тем, что различным индивидуальным процессам приписывается суперпозиция волновых функций, определенных в области обычного пространства-времени. Однако возможность такой трактовки покоится, как это было подчеркнуто в ходе дискуссий, на сравнительно слабом взаимодействии между частицами и полями, которое выражается через малую безразмерную константу $\alpha = e^2/\hbar c$, позволяющую с высокой степенью точности делать различие между состоянием системы электронов и ее реакцией излучения при взаимодействии с электромагнитным полем. Что касается квантовой электродинамики, то как раз в это время она начала сильно развиваться благодаря работам Швингера и Томонаги, ведущим к так называемой процедуре перенормировки, содержащей в себе поправки того же порядка, что и α , особенно проявившиеся при открытии лэмбовского смещения.

Однако между нуклонами и пионными полями существует сильная связь и она препятствует адекватному применению простых аргументов в духе принципа соответствия, особенно при изучении процессов столкновений, в которых рождается большое число пионов; в этих случаях оказался необходимым отход от линейности в фундаментальных уравнениях; Гейзенберг предложил даже ввести элементарную длину, представляющую конечный предел пространственно-временной координации. С точки зрения наблюдения такие пределы могут быть тесно связаны с ограничениями, которые налагаются на пространственно-временные измерения атомной структурой аппаратуры. Не вступая, конечно, в противоречие с утверждением, что в любом строго определенном описании физического опыта невозможно точно учесть взаимодействие между атомным объектом, подлежащим исследованию, и средствами наблюдения, такая ситуация при-

дала бы этой аргументации достаточный простор для логического охвата более глубоких закономерностей. Ко времени конгресса, однако, едва ли были предприняты какие бы то ни было попытки, в рамках которых, в качестве условия согласованности всего этого направления, пытались определить, например, константу связи α или же вывести другие безразмерные соотношения между массами элементарных частиц и константами связи. Тем временем все же искали путь дальнейшего развития в направлении изучения различных соотношений симметрии. И этот путь оправдал себя, что подтверждается быстрым успехом в открытии множества частиц, проявляющих столь неожиданные свойства, что они даже были охарактеризованы различной степенью «странности». Среди самых последних достижений можно вспомнить, как хорошо известно, большой успех смелого предложения Ли и Янга в 1957 году об ограниченной сфере сохранения четности, подтвержденного прекрасными экспериментами г-жи Ву и ее сотрудников. Обнаружение спиральности нейтрино заново возбудило старый вопрос о различии между правым и левым в описании явлений природы. Однако эпистемологический парадокс в этом отношении удалось избежать установлением связи между отображением симметрии в пространстве и времени и симметрии между частицами и античастицами.

Сказанное нельзя, конечно, рассматривать как мое стремление такими беглыми замечаниями исчерпать проблемы, возникающие в период новых важных экспериментальных и теоретических открытий; они составят главную тему на предстоящем конгрессе, и все мы жаждем узнать о них от участников из более молодого поколения. И все же мы будем часто ощущать отсутствие наших покойных коллег и друзей — Крамерса, Паули и Шредингера, принимавших участие в конгрессе 1948 года, последнем из конгрессов, который я посетил. Мы сожалеем также и о том, что болезнь помешала Максу Борну присутствовать среди нас.

В заключение я хочу надеяться, что настоящий обзор некоторых черт исторического развития будет воспринят как выражение признательности Сольвеевскому институту, которому сообщество физиков многим обязано, и в равной степени выражением тех надежд, которые мы все связываем с его будущей деятельностью.

ИСПРАВЛЕНИЕ ОПЕЧАТОК

В январском выпуске УФН (т. 91, вып. 1) в статье Ф. Дайсона «Томонага, Швингер и Фейнман — лауреаты Нобелевской премии по физике» допущены опечатки.

На стр. 72, третья строка снизу, следует читать: «...заложили основы квантовой электродинамики в конце 20-х годов».

На стр. 73 восьмая строка сверху должна читаться так: «...физики в 30-х годах надеялись выйти из создавшегося положения...»