

530.145

## ПРОБЛЕМА ПРИЧИННОСТИ В АТОМНОЙ ФИЗИКЕ\*)

(Н. Бор Дания)

## 1. ВНЕДРЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В КВАНТОВУЮ ТЕОРИЮ

Неограниченная применимость причинного способа описания к физическим явлениям вряд ли подвергалась серьезным сомнениям до открытия Планком кванта действия, которое выявило новую сторону атомистичности в законах природы, таким неожиданным образом дополнив старую доктрину ограниченной делимости вещества. Конечно, и до этого открытия статистические методы широко применялись в атомной теории, но они использовались только как практические средства решения сложных механических проблем, возникавших в связи с попытками сведения обычных свойств материи к поведению совокупностей огромного числа атомов. Важно заметить, что сама формулировка законов термодинамики подразумевает существенный отказ от полного механического описания таких совокупностей и, тем самым обнаруживает определенное формальное сходство с типичными проблемами квантовой теории<sup>1</sup>. Однако до сих пор не ставилось вопроса о каких-либо ограничениях возможности получения в принципе такого полного описания. Напротив, обычные представления механики и электродинамики оказались широко применимыми также и к собственно атомным явлениям, обеспечив, прежде всего, достаточно надежную основу для анализа экспериментов, приведших к открытию электрона и измерению его заряда и массы. Вследствие существенно статистического характера термодинамических проблем, которые привели к открытию кванта действия, далеко не сразу было осознано, что недостаточность законов классической механики и электродинамики для решения проблем атомной физики, обнаруженная этим открытием, предполагает некоторое несовершенство и самого идеала причинности.

Первое указание на серьезность ситуации в этом отношении явилось результатом обсуждения в течение ряда последующих лет структуры излучения в свободном пространстве. Несмотря на адекватность эйнштейновской идеи фотона при объяснении обмена энергией и импульсом в индивидуальных процессах излучения, с самого начала было ясно, что весь богатый опыт, который привел к принятию волновой картины распространения света, исключает какое бы то ни было возрождение простой корпускулярной теории излучения. Это также сразу становится очевидным из фундаментальных соотношений

$$E = h\nu, \quad \mathbf{p} = h\mathbf{k}, \quad (1)$$

\*) Bohr N. The Causality Problem in Atomic Physics.— In: *New Theories in Physics*.— Paris, 1939.— pp. 11—30.— Перевод и комментарий И. С. Алексеева.

Настоящая статья Н. Бора публикуется на русском языке впервые. Она представляет собой текст доклада, прочитанного им на Международном конгрессе физиков в Варшаве, 1938.

© Перевод на русский язык, издательство «Наука». Главная редакция физико-математической литературы, «Успехи физических наук», 1985.

связывающих энергию  $E$  и импульс  $\mathbf{p}$  фотона с частотой  $\nu$  и волновым вектором  $\mathbf{k}$ , которые непосредственно относятся к идеализации бесконечной плоской волны, находящейся в радикальном противоречии с понятием корпускулы. Это обстоятельство очевидно исключает всякую возможность описания судьбы отдельного фотона как причинного события в пространстве и времени. Однако это никоим образом не предполагает отказа от всестороннего описания опыта, которое полностью исчерпывается статистическими законами, касающимися осуществления индивидуальных действий излучения, однозначно-определенных с помощью принципа суперпозиции классической теории и законов сохранения, воплощенных в идее фотона.

То, что трудности причинного описания не ограничиваются проблемой структуры излучения, но также распространяются и на проблемы, связанные со строением вещества, стало особенно ясным после пополнения наших представлений о структуре атома в результате открытия Резерфордом атомного ядра. Действительно, исключительная простота этой структуры сразу же сделала явной полную неадекватность обычных законов механики и электродинамики в деле объяснения замечательной устойчивости атомов, вынудив нас добавить к квантовым характеристикам процессов излучения дополнительное допущение, что любое однозначно-определенное изменение связей электрона в атоме представляет собой полный переход атома из одного из характерных для него стационарных состояний в другое такое же состояние. Эти так называемые квантовые постулаты не только полностью чужды кругу классических механических идей, но и подразумевают явный отказ от какого бы то ни было причинного описания атомных процессов подобного рода. В частности, по поводу возможных переходов атома из какого-либо данного стационарного состояния в другое стационарное состояние, сопровождаемых испусканием фотонов различных энергий, можно сказать, что атом здесь сталкивается с выбором, для которого, согласно всему характеру описания, не существует никаких детерминирующих обстоятельств.

В ситуации, подобной этой, все предсказания могут относиться только к вероятностям различных возможных протеканий атомных процессов, доступных непосредственному наблюдению; и так же, как в случае собственно действий излучения, очевидно, что это не может быть приписано какой-либо временной неполноте соответствующих образов. В самом деле, квантовые постулаты так же адекватны при феноменологическом описании атомных реакций, как неизбежны основные понятия механики и электродинамики для спецификации атомных структур и для определения фундаментальных свойств агентов, с которыми последние взаимодействуют. Будучи далеким от того, чтобы быть временным компромиссом в отношении этой дилеммы, обращение к существенно статистическому рассмотрению является единственным мыслимым для нас средством достижения такого обобщения обычного способа описания, которое обеспечивает достаточный простор для учета черт индивидуальности, воплощенных в квантовых постулатах, и для сведения к классической теории в предельном случае, когда все действия, фигурирующие в анализе явлений, велики по сравнению с отдельным квантом. В поисках формулировки такого обобщения нашей единственной путеводной нитью был, так называемый, аргумент соответствия, выражающий требование продолжать употребление классических понятий до максимально возможной степени, совместимой с квантовыми постулатами.

Как хорошо известно, на основе такого рода соображений Эйнштейну удалось сформулировать общие законы для испускания и поглощения фотонов в процессах излучения, с помощью которых можно понять формулу Планка для излучения черного тела. Тем же способом вскоре была разработана рациональная теория дисперсии, существенный вклад в развитие которой внес Крамерс. Аналогия с классическими представлениями о взаимодействии между электрическими осцилляторами и полями излучения, на базе которой были получены эти результаты, оказалась, несмотря на ряд многообещаю-

щих попыток объяснения более специфических характеристик атомов, недостаточной для установления последовательного рассмотрения в духе идеи соответствия. Главная трудность на этом пути при решении атомных проблем по сравнению с чисто радиационными эффектами возникала вследствие отсутствия в классической механике принципа суперпозиции, подобного имеющемуся в теории поля; действительно, несмотря на то, что любое решение механических уравнений движения, конечно, можно было представить в виде суперпозиции чисто гармонических колебаний, эти колебания, вследствие нелинейности уравнений, сами по себе не являются независимыми решениями механических задач. Именно осознание необходимости избегать всякого явно-го использования представлений о механическом движении в связи с квантовыми постулатами привело Гейзенберга к созданию рациональной квантовой механики, основанной на соответствующем формальном изображении всех кинематических и динамических понятий.

В этом формализме канонические уравнения классической механики

$$\frac{dp_i}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial q_i}, \quad \frac{dq_i}{dt} = \frac{\partial H}{\partial p_i} \quad (2)$$

остаются неизменными, квант действия вводится лишь в так называемые перестановочные правила

$$p_i q_i - q_i p_i = \frac{\hbar}{2\pi\sqrt{-1}} \quad (3)$$

для любой пары канонически сопряженных переменных. Помимо того, что вся эта схема сводится к классической механике для случая  $\hbar = 0$ , все требования аргумента соответствия оказываются выполненными также и в общем случае благодаря возможности сочетания чисто классического описания гамильтоновой функции  $H$  с надлежащей квантовой трактовкой квантовых характеристик ее поведения.

В частности, существенно статистическая природа этой трактовки является прямым следствием того факта, что перестановочные правила разрешают нам задать в любой момент времени не более половины символов, обозначающих канонические переменные с определенными значениями соответствующих классических величин. В специальном случае изолированной атомной системы теория, таким образом, позволяет предсказать все возможные значения переменных действия, которые характеризуют стационарные состояния этой системы, в то время как сопряженные угловые переменные остаются полностью неопределенными.

В принципе, надлежащее использование канонических преобразований позволяет применить этот формализм к любой мыслимой атомной проблеме, во всяком случае, если пренебречь релятивистскими поправками. При этом крайне важно — не только для практического использования формализма, но и для разъяснения существенных аспектов, вытекающих из него следствий — обратить внимание на то, что с помощью сложных математических операций рассмотрение любой квантовомеханической проблемы, как можно показать, по существу сводится к решению некоторого линейного дифференциального уравнения, позволяющего сформулировать для атомных систем принцип суперпозиции состояний, аналогичный соответствующему принципу теории поля. Фактически, первоначальное установление этого фундаментального уравнения Шрёдингером было результатом его независимой попытки более близкого подхода к причинному описанию атомных явлений посредством радикального изменения наших взглядов на строение материи. Как хорошо известно, эта линия аргументации была начата де Бройлем, который, опираясь на аналогию с идеей фотона, предложил сопоставить движению свободной частицы волну с частотой и волновым вектором, связанными уравнениями (1) с энергией и импульсом частицы. Однако, несмотря на исключительную плодотворность этих идей, стало очевидным, что любая конкретная

волновая картина так же неспособна объяснить основные данные опыта, относящиеся к индивидуальности электрона, как корпускулярная картина в отношении к свойствам суперпозиции полей излучения. В этих двух случаях мы фактически имеем дело с двумя дополнительными аспектами опыта.

В этой связи следует также напомнить, что в уравнении Шрёдингера, которое можно записать в виде

$$H\psi = \frac{hi}{2\pi} \frac{\partial \psi}{\partial t}, \quad (4)$$

где  $H$  — дифференциальный оператор, получающийся путем замены символов  $p$  операторами

$$p_i = \frac{h}{2\pi i} \frac{\partial}{\partial q_i} \quad (4a)$$

в гамильтоновой функции. Форма этой функции содержит такое же непосредственное указание на корпускулярное описание атомной системы, как принятие уравнения (2) в формализме Гейзенберга. Кроме этого, чисто формальный характер многообещающего сходства между атомной механикой и классическими волновыми проблемами, по-видимому, наиболее убедительно иллюстрируется тем фактом, что это сходство может быть выявлено лишь с помощью комплексных чисел, которые только и позволяют воплотить абстракции квантовой механики в такой простой форме, как (3) и (4). Подлинный смысл волнового формализма как наиболее удобного средства выражения статистических законов атомной механики был также вскоре полностью прояснен, главным образом, благодаря усилиям Борна, Дирака и Йордана, а полнота и самосогласованность всего формализма с наибольшей ясностью выявилась в элегантном аксиоматическом изложении его фон Нейманом, который, в частности, сделал очевидным, что фундаментальный принцип суперпозиции квантовой механики логически исключает возможность избежать непричинных черт формализма путем любого мыслимого введения дополнительных переменных \*).

Едва ли нужно специально подчеркивать, что вся изложенная здесь аргументация в пользу необходимости отказа от причинного описания атомных явлений никоим образом не зависит от упомянутого выше игнорирования релятивистских требований в квантовой механике. Более того, принципиальное отсутствие противоречий между принципом относительности и квантовой теорией с самого начала гарантируется релятивистской инвариантностью кванта действия, которая отмечалась уже на заре квантовой теории самим Планком и которая в руках Эйнштейна и де Бройля оказалась мощным средством аргументации в пользу общности отношения между кинематическими и динамическими величинами, выраженного формулами (1).

Замечательный успех дираковской релятивистской квантовой теории электрона, основанной на искусном обобщении квантовомеханического формализма с помощью еще более сложных абстракций, создает весьма воодушевляющие перспективы дальнейшего продвижения в этом направлении. Существующие в настоящее время парадоксы этой теории, связанные с использованием идеализации точечного заряда для электрона и препятствующие разработке последовательной квантовой электродинамики в духе идеи соответствия, должны быть приписаны скорее нашей неспособности понять какую-то глубокую черту устойчивости самих индивидуальных частиц, остро проявившейся уже в классической электронной теории, чем какому-либо недостатку общего направления, на котором было достигнуто включение кванта действия в атомную теорию. Совершенно независимо от этих остающихся открытыми проблем атомной теории, эти кажущиеся парадоксы, необходимо связанные с таким включением, в последние годы также получили полное

\*) Полное изложение хода этого развития можно найти в многочисленных курсах по квантовой механике. См., например, <sup>2</sup>.

разъяснение благодаря новому пересмотру самой проблемы наблюдения в этой области, который, вскрыв неявные предпосылки недвусмысленного применения наших самых элементарных понятий, напомнил нам в некоторых отношениях о великом уроке, преподанном теорией относительности.

## 2. ПРОБЛЕМА НАБЛЮДЕНИЙ В КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ

На всех стадиях развития квантовой теории следствия, вытекающие из индивидуальности квантовых эффектов, конечно, играли решающую роль в аргументации для упорядочения экспериментальных данных. Однако прояснение ситуации по отношению к проблеме наблюдения в квантовой теории, сравнимое с тем, которое составляло отправной пункт теории относительности, впервые было достигнуто лишь после создания рационального квантовомеханического формализма. Как хорошо известно, Гейзенберг был первым, кто обратил внимание на тот факт, что вследствие вмешательства кванта действия в любой мыслимый измерительный процесс, информация о состоянии атомной системы, которую можно получить путем непосредственных измерений, всегда должна содержать взаимный допуск в отношении значений любой пары канонически сопряженных переменных, который в точности соответствует ограничению, накладываемому на фиксацию значений этих переменных в квантовой механике отсутствием перестановочности соответствующих символов.

Это последнее ограничение выражается так называемыми соотношениями неопределенностей, непосредственно вытекающими из перестановочных правил (3)

$$\Delta p \cdot \Delta q \geq \frac{h}{4\pi}, \quad (5)$$

где  $(\Delta p)^2$ ,  $(\Delta q)^2$  обозначают средние квадраты отклонения  $p$  и  $q$  от их средних значений в состоянии рассматриваемой системы. В крайнем простом случае фотона или свободной частицы соотношения (5) обозначают фактически минимальный взаимный допуск фиксации координаты и импульса, совместимый с соотношениями (1), что непосредственно следует из разложения волнового пакета по его гармоническим составляющим. Окончательная причина того, что ни в одном мыслимом измерении сопряженные величины не могут быть зафиксированы с большей точностью, чем даваемая формулой (5), заключается в дополнительном характере картин, используемых для описания действий любого из вспомогательных агентов, употребленных в измерительном процессе. Всякий такой процесс, имеющий целью фиксацию некоторой величины, например  $q$ , с данной точностью  $\Delta q$ , будет в действительности, вследствие вмешательства кванта действия в этот процесс, не только включать конечное изменение сопряженной величины  $p$ , но это изменение оказывается даже неконтролируемым в пределах  $\Delta p$ , связанных с  $\Delta q$  неравенством (5). Здесь вряд ли необходимо более подробно обсуждать типичные примеры измерительных процессов, поскольку они детально рассмотрены в современной литературе<sup>3</sup>. Проблема наблюдения в квантовой теории, однако, содержит в себе определенный новый эпистемологический аспект, касающийся анализа и синтеза физического опыта, который лишь постепенно был прояснен в последние годы и который я хочу теперь обсудить.

Прежде всего, мы должны осознать, что измерение не может иметь иного смысла кроме как быть недвусмысленным сравнением некоторого свойства исследуемого объекта с соответствующим свойством другой системы, выступающей в роли измерительного прибора, для которой это свойство задано непосредственно согласно его определению, данному на повседневном языке или в терминологии классической физики. В то время как в области классической физики такого рода сравнение может быть осуществлено без существенного вмешательства в поведение объекта, в области квантовой

теории это не так, поскольку взаимодействие между объектом и измерительными приборами будет оказывать там существенное влияние на само явление. В конце концов, мы должны понять, что это взаимодействие не может быть четко отграничено от невозмущенного поведения объекта, потому что необходимость основывать описание свойств измерительных приборов и манипуляций с ними на чисто классических представлениях влечет за собой пренебрежение всеми квантовыми эффектами в этом описании и, в частности, отказ от контроля реакции объекта на измерительные приборы в более точной степени, чем это совместимо с соотношениями (5).

Последнее обстоятельство отчетливо показывает, что статистический характер соотношений неопределенностей никоим образом не возникает вследствие какой-либо неспособности измерений различать в пределах определенного допуска между классически описываемыми состояниями объекта, а скорее выражает существенное ограничение на применимость классических представлений к анализу квантовых явлений. Смысл соотношений неопределенностей заключается именно в том, чтобы гарантировать отсутствие в таком анализе какого-либо противоречия между различными мысленными измерениями. Самый факт невозможности проведения в квантовых явлениях резкого разграничения между независимым поведением объектов и их взаимодействием с измерительными приборами в действительности придает каждому такому явлению некоторую новую черту индивидуальности, которая ускользает от всех попыток анализа в классическом духе, поскольку любое мыслимое экспериментальное устройство, имеющее целью подразделение данного явления будет несовместимым с осуществлением последнего и приведет, в рамках допусков, указываемых соотношениями неопределенностей, к возникновению других явлений такого же индивидуального характера.

Таким образом, значение решающего урока, полученного в результате анализа измерений в квантовой теории, состоит в подчеркивании необходимости при описании явлений принимать во внимание всю экспериментальную установку, что полностью согласуется с тем фактом, что любая недвусмысленная интерпретация квантовомеханического формализма подразумевает фиксацию внешних условий, определяющих начальное состояние рассматриваемой атомной системы и характер возможных предсказаний, касающихся наблюдаемых после этого свойств этой системы. Действительно, любое измерение в квантовой теории может относиться либо к фиксации начального состояния, либо к проверке такого рода предсказаний, и, что самое главное, лишь комбинация измерений этих двух видов образует однозначно-определенное явление.

Прежде чем приступить к более подробному обсуждению эпистемологического аспекта этой ситуации в ее отношении к синтезу опытных данных и ее следствий для наших взглядов на проблему причинности, важно подчеркнуть, что здесь мы никоим образом не имеем дела с каким-либо произволом в интерпретации экспериментов или с неполнотой квантовомеханического формализма. Как хорошо известно, этот момент оспаривается некоторыми физиками, сыгравшими ведущую роль в развитии квантовой теории. В частности, Эйнштейн<sup>4</sup> доказывал, что вследствие нашей свободы в использовании измерительных приборов, мы по всей видимости, получаем способность приписывать объектам свойства, которые, согласно квантовой механике, должны быть взаимно несовместимыми. В действительности же даже после того, как между объектом и некоторым телом, служащим в качестве измерительного прибора, произошло взаимодействие, у нас все еще остается возможность выбора среди различных операций с этим телом, которые допускают альтернативные предсказания в отношении последующих измерений. Поскольку сам объект не подвергается какому-либо воздействию в промежуток времени между первым контактом с вспомогательным телом и этими измерениями, на первый взгляд может показаться, что все эти предсказания

должны относиться к тому же самому состоянию объекта и, следовательно, должны быть включены в исчерпывающее описание физической реальности.

Если, например, до контакта с объектом импульс вспомогательного тела был проконтролирован с большой точностью, что сопровождалось соответствующим большим допуском в знании его положения относительно других частей прибора, мы после этого контакта все еще стоим перед выбором либо снова измерить его импульс с той же точностью, либо проконтролировать его положение по отношению к другому прибору с любой заданной точностью. В первом случае мы, очевидно, имеем дело с непосредственным измерением передачи импульса объекту, позволяющим нам рассчитать импульс последнего после контакта, если он был предварительно известен. В другом случае, если предположить, что тело достаточно тяжелое, чтобы неопределенность в знании его импульса не оказывала заметного влияния на его скорость, мы можем вычислить положение тела в момент контакта с объектом и, следовательно, получить знание о пространственно-временной координате последнего с любой желаемой точностью. Так как в обоих этих случаях сам объект рассматривается одинаково, мы, казалось бы, как указывалось выше, получаем возможность приписать одному и тому же состоянию объекта два точно определенных физических атрибута, что несовместимо с соотношениями неопределенностей.

Такая аргументация, необычайно ясно освещающая неадекватность обычных идей механики в их применении к квантовым явлениям, тем не менее, непригодна для того, чтобы обнаружить какие-либо недостатки квантовомеханического способа описания<sup>5</sup>. Действительно, этот парадокс находит свое полное разрешение в рамках квантовомеханического формализма, согласно которому нельзя точно и определенно употреблять понятие «состояние» по отношению к объекту, отделенному от вспомогательного тела, с которым он контактировал до тех пор, пока внешние условия, включенные в определение этого понятия, не будут однозначно зафиксированы последующим надлежащим контролем этого вспомогательного тела. Вместо того чтобы обнаружить какую-либо неполноту формализма, изложенная аргументация в действительности влечет за собой недвусмысленное предписание, обеспечивающее рациональное применение этого формализма при всех мыслимых манипуляциях с измерительными приборами. Полная свобода выполнения экспериментальных процедур, общая для всех исследований физических явлений, сама по себе, конечно, содержится в нашем свободном выборе экспериментальной установки, диктуемом только спецификой явления, которое мы хотим исследовать.

Кажущееся противоречие между различными типами квантовых явлений, описание которых содержит различные классические представления, подобные пространственно-временной координате или сохранению энергии и импульса, в действительности находит свое прямое объяснение во взаимно исключающем характере различных экспериментальных установок, требуемых для возникновения таких явлений. Так, любое явление, в котором мы имеем дело с прослеживанием перемещения какого-либо атомного объекта в пространстве и времени, нуждается в установлении различных совпадений между этим объектом и жестко закрепленными телами и подвижными устройствами, которые, играя роль масштабов и часов, соответственно, определяют пространственно-временную систему отсчета, к которой относится рассматриваемое явление. Однако такая ситуация подразумевает отказ от какого бы то ни было точного количественного контроля обмена энергией и импульсом в ходе каждого совпадения между объектом и отдельными телами, входящими в экспериментальную установку. И наоборот, каждое явление, в котором нас главным образом интересуют обмены энергией и импульсом — и которое поэтому требует экспериментальной установки, позволяющей по крайней мере два последовательных количественных определения энергии и импульса — будет в принципе связано с отказом от контроля всякой

точной пространственно-временной координации объектов в интервалах времени между этими измерениями.

Поучительными примерами подобной ситуации являются, соответственно, эффекты интерференции электронов и комптон-эффект, которые в равной степени парадоксальны с точки зрения классической физики. В первом случае явление в действительности определено только тогда, когда относительные положения всех рассеивающих тел и фотопластинок известны с точностью, исключающей возможность дискриминации посредством контроля передачи импульса между различными представимыми траекториями электронов до степени, несовместимой с самой идеей интерференции. В последнем случае контроль пространственно-временной координации процесса рассеяния, несовместимый с определением величин импульса и энергии, заранее исключается любым устройством, позволяющим проверку сохранения импульса и энергии такого типа, как это подразумевается в специфике самого явления. В действительности ни в одном случае не возникает вопроса о простой замене классической корпускулярной картины электронов и волновой картины света представлением об электронной волне или понятием фотона, соответственно. Скорее мы должны иметь дело с индивидуальными явлениями, которые не могут быть проанализированы классически и которые обнаруживают специфическое дополнительное соотношение принципа суперпозиции и законов сохранения в квантовой теории.

Несмотря на свою большую важность в деле иллюстрации типичных аспектов атомных процессов, только что обсуждавшиеся два вида квантовых явлений представляют собой, конечно, только предельные случаи, характеризующиеся особой простотой. В действительности оказывается возможным проверить статистические предсказания квантовой механики, относящиеся к любому состоянию объекта, определенному значениями надлежащих функций пространственно-временных переменных и величин импульса и энергии. В отношении подобных случаев, однако, также следует помнить, что любое точно определенное явление включает в себя комбинацию нескольких сравнимых измерений. Значение этого пункта убедительно выявляется с помощью часто обсуждавшегося опыта по возможному определению положения частицы с известным импульсом с помощью пятна, возникающего при ее попадании на фотопластинку. Чтобы избежать какого-либо противоречия с соотношениями неопределенностей, мы, разумеется, должны здесь иметь дело с измерительным устройством, которое не приспособлено для определения явления, подразумевающего проверку предсказаний, относящихся к положению объекта. Согласно соотношениям неопределенностей знание его импульса в действительности препятствует любой недвусмысленной связи между этим объектом и системой отсчета, по отношению к которой определяется положение фотопластинки.

Конечно, в систему, к которой применяется квантовомеханический формализм, возможно включить любой промежуточный вспомогательный агент, используемый в измерительном процессе. Однако поскольку все те свойства подобных агентов, которые в соответствии с целью измерения должны быть сравнены с соответствующими свойствами объекта, должны описываться классически, их квантовомеханическое рассмотрение для этой цели, по существу, будет эквивалентным классическому описанию. Вопрос о возможном включении таких агентов в исследуемую систему, таким образом, всецело является делом практического удобства, так же как и в классических измерениях; и, следовательно, подобного рода перемещения границы между объектом и измерительными приборами никогда не могут повлечь за собой какой-либо произвол в описании явления и в его квантовомеханическом рассмотрении. Единственным существенным пунктом здесь является то, что в каждом случае в конце концов некоторые измерительные приборы типа масштабов и часов, которые определяют систему пространственно-временной координации — и на которых в конечном счете основаны даже самые опре-



деления величин импульса и энергии — должны всегда описываться исключительно классически и, следовательно, оставаться вне системы, подлежащей квантовомеханическому рассмотрению.

Непривычные черты ситуации, с которой мы столкнулись в квантовой теории, требуют величайшей осторожности в плане всех вопросов, относящихся к терминологии. Говорить, как это часто делается, о возмущении явления наблюдением или даже о порождении физических атрибутов объектов посредством измерительных процессов, в действительности означает способствовать возникновению путаницы, поскольку все выражения подобного рода подразумевают отход от основных правил языка и никогда не являются недвусмысленными, хотя иногда и могут употребляться ради краткости. Несомненно, что гораздо более согласующимся со структурой и интерпретацией квантовомеханического символизма, а также с основными эпистемологическими принципами, будет резервирование слова «явление» для обозначения эффектов, наблюдаемых при заданных экспериментальных условиях.

Эти условия, включающие описание свойств всех измерительных приборов, имеющих существенное значение, и манипуляций с ними, образуют в действительности единственную основу для определения понятий, с помощью которых описывается явление. Именно в этом смысле явления, определенные с помощью различных понятий, соответствующих взаимноисключающим экспериментальным установкам, могут недвусмысленно рассматриваться как дополнительные аспекты всех доступных опытных данных, относящихся к исследуемым объектам. Точка зрения дополнительности действительно позволяет нам избежать разного рода бесплодных дискуссий об окончательном детерминизме или индетерминизме физических событий, будучи прямым обобщением самого идеала причинности, который может иметь своей целью только синтез явлений, допускающих описание в терминах поведения объектов, независимого от средств наблюдения <sup>6</sup>.

### 3. ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОСТЬ

Несмотря на все различия в характере физических проблем, с которыми они имеют дело, теория относительности и квантовая теория обладают поразительным сходством в одном чисто логическом отношении. В обоих случаях мы сталкиваемся с новыми аспектами проблемы наблюдения, включающими определенный пересмотр привычных представлений о физической реальности и берущими начало в обнаружении общих законов природы, не оказывающих непосредственного влияния на повседневный опыт. Невозможность недвусмысленного разделения пространства и времени без ссылки на наблюдателя и невозможность резкого разделения между поведением объектов и их взаимодействием со средствами наблюдения, фактически являются прямыми следствиями существования максимальной скорости распространения всех действий и минимальной величины всякого действия соответственно. Последнее основание для неизбежного отказа от абсолютной значимости обычных атрибутов объектов и для обращения к относительному или дополнительному способу описания соответственно в обоих случаях также заключается в необходимости ограничиться при описании опыта сравнениями между измерениями, в интерпретации которых следует принципиально пренебрегать уточнениями теории относительности и квантовыми эффектами.

Даже формализмы, которые в обеих теориях, в рамках их применимости, обеспечивают адекватные средства для охвата всего мыслимого опыта, обнаруживают глубоко идущие аналогии. Действительно, изумительная простота этих обобщений классических физических теорий, которые получены с помощью использования многомерной геометрии и некоммутативной алгебры соответственно, в обоих случаях существенно покоится на введении условного символа  $\sqrt{-1}$ . Абстрактный характер упомянутых формализмов дей-

ствительно оказывается после надлежащего исследования одинаково типичным для теории относительности и квантовой механики, так что в этом отношении является чисто вопросом традиции рассматривать первую теорию как завершение классической физики, а не как первый фундаментальный шаг в радикальном пересмотре наших концептуальных средств сравнения наблюдений, к которому мы вынуждены современным развитием физики. В атомной теории ничуть не более, чем в классических теориях механики и электродинамики, необходимость такого пересмотра не была видна с самого начала, и точно так же, как понимание относительности даже наших самых элементарных понятий, осознание дополнительных аспектов атомных явлений было развито лишь постепенно в результате крушения всех усилий справиться с новыми опытными данными в рамках классического способа мышления.

В этой ситуации, прежде всего, следует учесть решающую важность того, что упомянутые две теории, несмотря на коренное различие их отправных пунктов, построены так, что они образуют гармоническое единство, обладающее логически последовательной структурой. Действительно, релятивистская инвариантность кванта действия гарантирует, как уже упоминалось в п. 1, что все основные квантовые соотношения являются полностью независимыми от системы отсчета. Естественно, мы встречаемся с еще более острыми (с классической точки зрения) парадоксами в теориях, которые учитывают совместно релятивистские и квантовые требования, что особенно отчетливо проявляется в формальном использовании отрицательных значений энергии в такого рода теориях. Однако это лишь еще раз подчеркивает внутренние ограничения анализа и синтеза рассматриваемых явлений, проводимых в классическом духе; подобные ограничения ясно обнаруживаются даже в тех явлениях, которые включают только один или только другой способ отхода от классической физики. Действительно, вся аргументация, касающаяся адекватности и полноты охвата опыта, может быть связана только с исследованием недвусмысленной интерпретации измерений и их сравнения; и как раз в этом отношении релятивистская инвариантность соотношений неопределенностей (5) позволяет нам без существенных изменений придерживаться всей той аргументации, которая была изложена в п. 2.

Правда, под впечатлением этих парадоксов ссылались на мнение, выраженное с ряда сторон, что простые релятивистские соображения должны накладывать более жесткие ограничения на использование кинематических и динамических переменных и понятия электромагнитного поля по сравнению с теми, которые вытекают из перестановочных правил формализмов квантовой механики и квантовой электродинамики. Однако подробное исследование показало, что подобные аргументы основаны на рассмотрении специфических измерительных агентов, которые, вследствие дополнительного характера рассматриваемых явлений, непригодны для достижения цели измерения. Действительно, в соответствии с изложенной нами выше аргументацией, всегда возможно, по крайней мере в принципе, придумать экспериментальные устройства, которые позволили бы проверить предсказания любого последовательного релятивистского формализма типа дираковской квантовой теории электрона или квантовой теории электромагнитных полей в свободном пространстве<sup>7</sup>. В таком рассмотрении мы, естественно, имеем дело только со следствиями так называемой специальной теории относительности, поскольку в собственно атомных проблемах гравитационные взаимодействия малых масс, фигурирующие в них, являются пренебрежимо малыми. Тем не менее, интересно заметить, что все аргументы по поводу проблемы наблюдения в квантовой теории находятся в полной гармонии с общим принципом относительности.

Это было в высшей степени поучительным образом показано на примере одного типичного экспериментального устройства, предложенного Эйнштейном и обсуждавшегося на Сольвеевском конгрессе по физике в 1930 г. В этом устройстве обмен энергией в ходе контакта между атомным объектом и изме-

рительным телом определялся посредством разницы веса этого тела до и после контакта. На первый взгляд, может показаться, что взвешивание тела возможно выполнить без помехи для точного контроля времени, в течение которого имеет место контакт, путем регистрации с помощью часов, жестко скрепленных с рассматриваемым телом. Очевидно, что это доставило бы информацию о переменных энергии и времени, относящихся к объекту, с большей точностью, чем совместимая с квантовой механикой. Однако более тщательное исследование также показывает, что использование любого прибора для взвешивания с заданной точностью будет исключать подобный контроль времени контакта. Действительно, неизбежный допуск в нашем знании положения тела в гравитационном поле повлечет за собой неопределенность в регулировке часов, связанную с принятой точностью измерения энергии квантовомеханическим соотношением неопределенностей. Конечно, такой результат не является неожиданным, поскольку тот способ, которым соображения эквивалентности, присущие общей теории относительности, формулируются на основе чисто кинематических и динамических принципов, рационально включается в квантовую механику. Главный урок всей этой дискуссии скорее заключается в том, чтобы еще раз подчеркнуть необходимость сугубо классического описания всех основных измерительных приборов, которые определяют внешние условия явления, и, следовательно, оставления их вне системы, для рассмотрения которой существен учет кванта действия.

С совершенно новыми аспектами проблемы наблюдения в атомной теории мы, однако, встречаемся в связи с уже упоминавшимися в п. 1 еще не разрешенными трудностями гармонического включения в релятивистскую квантовую теорию существенно атомистических черт материи и электричества, выходящих за пределы классической электродинамики. Действительно, следует осознать, что все теперешние нападки на квантовую теорию основаны на предположении, что можно, не обращая внимания на атомистическое строение всей материи, по крайней мере в принципе, прибегнуть к услугам измерительных приборов сколь угодно уточненной конструкции, которыми можно манипулировать без всяких ограничений. Адекватность такой идеализации — несомненно законной для всей области опыта, относящегося к атомным явлениям, которые могут быть скоординированы при помощи методов, обсуждавшихся в пп. 1 и 2 — должна, естественно, быть исследована более тщательно во всех случаях, где эти методы не срабатывают<sup>8</sup>. В связи с осложнениями, возникшими в ходе постепенного развития теории электронов, такое исследование, однако, пока что только вскрыло не предполагавшиеся ранее возможности существующих методов, которые прежде всего привели в итоге к созданию теории электронных пар, оказавшейся в последние несколько лет такой успешной в объяснении замечательных явлений электронных ливней в космических лучах. Но совсем недавно Гейзенберг<sup>9</sup> предположил, что другие черты этих явлений указывают на существенную неустойчивость всей материи в экстремальных условиях, которую можно связать с существованием предела, не допускающего применения понятий пространства и времени внутри четырехмерной области некоторого определенного размера, весьма малого по сравнению с пространственными величинами и промежутками времени, используемыми для описания обычных атомных явлений.

Совершенно независимо от конкретных способов преодоления пока еще существующих трудностей атомной теории, открываемых подобными соображениями, можно со всей определенностью сказать, что на этом пути не может быть и речи о возвращении к описанию атомных явлений в духе более тесного согласия с идеалом причинности. Скорее мы встречаемся здесь с необходимостью еще более радикального отхода от привычных способов описания явлений природы, требующего дальнейшего расширения точки зрения дополнительности, подобно тому как постепенное развитие космологических теорий, не ограничивая применимости принципов теории относительности,

привело к еще большему расширению их сферы действия. Действительно, как в космологии, так и в атомной теории, мы не можем взять в качестве исходного пункта ничего, кроме соглашений, принятых для описания нашего обычного практического опыта, а различный характер обобщения методов классической физики, с которым мы имеем дело в этих двух областях, вполне естественно связывается с двумя противоположными направлениями расширения опыта, ставящими нас перед существенно различными эпистемологическими ситуациями.

В заключение я хотел бы заметить, что какими бы непривычными с позиций классической физики ни выглядели те аспекты проблемы наблюдения, с которыми мы сталкиваемся в атомной теории, они отнюдь не являются чем-то новым для других областей науки. В этой связи следует напомнить о невозможности резкого разграничения между объективным содержанием и субъективным переживанием восприятия при анализе психологического опыта. Действительно, отношение взаимного исключения между различными психологическими явлениями, обозначаемыми такими словами, как «мысли» и «чувства», как «разум» и «инстинкт», поразительно напоминают нам о дополнительном отношении между атомными явлениями, описываемыми с помощью кинематических и динамических понятий, соответственно. Хотя такие аналогии, конечно, имеют чисто формальный характер, они, тем не менее, могут оказаться небесполезными для ученых, работающих в других областях знания. Действительно, это не только вселяет надежду, что рациональные попытки разрешения рассмотренных выше сравнительно простых физических проблем могут подсказать новые методы охвата результатов более сложных психологических исследований, но физики также могут получить некоторую помощь и воодушевление от понимания того, что новая ситуация по отношению к проблеме причинности, в которой они оказались, не является уникальной.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bohr N. Chemistry and Quantum Theory of Atomic Constitution.— J. Chem. Soc., 1938, v. 134, p. 349.— (Перевод: Бор Н. Избранные научные труды.— М.: Наука, 1971, т. II, с. 75.— *Перев.*).
2. Born M., Jordan P. Elementare Quantenmechanik.— Berlin, 1930 \*).  
Дирак П. А. М. Принципы квантовой механики.— М.: Физматгиз, 1960; Наука, 1979.  
Фон Нейман Дж. Математические основы квантовой механики.— М.: Наука, 1964.  
Паули В. Квантовая теория.— Труды по квантовой теории.— М.: Наука, 1975, с. 7.  
Краммерс Н. Theorien des Aufbaues der Materie.— In: Hand- und Jahrbuch der Chemischen Physik. Bd. 1.— Leipzig, 1933.
3. Гейзенберг В. Физические принципы квантовой теории.— М.; Л.: ГТТИ, 1932.  
Bohr N. Atomtheorie und Naturbeschreibung.— Berlin, 1931.
4. Эйнштейн А. (совместно с Б. Подольским и Н. Розеном). Можно ли считать квантовомеханическое описание физической реальности полным? — Собрание научных трудов.— М.: Наука, 1966, т. III, с. 604.
5. См.: Бор Н. Можно ли считать квантовомеханическое описание физической реальности полным? — Избранные научные труды.— М.: Наука, 1971, т. II, с. 180.
6. См.: Бор Н. Причинность и дополнительность.— Ibidem, с. 204.
7. См.: Бор Н., Розенфельд Л. К вопросу об измеримости электромагнитного поля.— Ibidem, с. 120.
8. Bohr N.— In: Reports of the Solvay Council.— 1933, p. 216.
9. Heisenberg W.— Ann. d. Phys., 1938, Bd. 32, S. 20.

#### КОММЕНТАРИЙ ПЕРЕВОДЧИКА

Проблема причинности в атомной физике анализируется Бором в широком методологическом контексте. Первая часть статьи представляет собой краткий исторический очерк, скупыми, но яркими мазками рисующий картину вхождения статистических представлений в физику. Бор подчеркивает тесную связь неустранимо вероятностного харак-

\*) Некоторые цитируемые далее Н. Бором оригинальные работы заменены переводчиком имеющимися переводами. (*Прим. ред.*)

тера квантовой теории с квантовыми постулатами, вводящими чуждые классической физике представления о целостности, индивидуальности атомных процессов.

Во второй центральной части своей статьи Бор детально обсуждает проблемы причинности в атомной физике, поднятые в ее первой части, показывая, что их разрешение требует тщательного анализа процесса наблюдения. Исходя из программного методологического требования, сформулированного им еще в 1922 г., описывать работу измерительных приборов и результаты наблюдений на языке классической физики, он разъясняет, что статистический характер соотношений неопределенностей выражает существенное специфически квантовое ограничение на применимость классических представлений к анализу микроявлений.

Далее Бор делает принципиальный шаг в уточнении понятия «явление», одного из центральных среди тех понятий, с помощью которых он формулировал свою концепцию дополнительности. Если раньше Бор отождествлял явление с исследуемым объектом и допускал выражения типа «возмущение явления при измерении», то в этой статье он недвусмысленно показывает, что любое однозначно-определенное явление включает в себя комбинацию нескольких сравнимых измерений. Иными словами, теперь, по мысли Бора, явление следует понимать как однозначно заданную ситуацию завершеного эксперимента. Вследствие этого говорить о возмущении явления наблюдением является неверным.

Заключительная часть статьи посвящена обсуждению методологических параллелей квантовой теории и теории относительности. Это было одной из любимых тем Бора, не упускавшего случая подчеркнуть сходство методологических оснований дополнительного и релятивистского способов мышления, заключающееся в тщательном анализе возможности измерений для определения понятий, с помощью которых задается определенность существования элементов физической реальности.

В дискуссии по докладу Бора первым выступил Дж. фон Нейман, кратко изложивший свое известное доказательство невозможности включения «скрытых параметров» в квантовомеханический формализм, а также предложенную им совместно с Г. Биркгофом систему «квантовой логики». Проблемам логики квантовой механики было посвящено также выступление Ж.-Л. Детуша.

Отвечая Дж. фон Нейману, Бор высоко оценил его работу по математическому и логическому обоснованию квантовой теории. Высокая оценка работы Неймана была дана им и в самом докладе. На это важно обратить внимание, потому что в литературе нередко встречается противопоставление взглядов Бора взглядам Неймана.

Можно надеяться, что публикуемая статья Бора, в которой зафиксирован важный этап эволюции концепции дополнительности, позволит яснее и глубже разобраться в истории развития методологии квантовой механики.

*И. С. Алексеев*



53(092)

## ОТКРЫТОЕ ПИСЬМО ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ\*)

И. Бор

Копенгаген, Дания

Я обращаюсь к организации, основанной с целью содействия сотрудничеству между народами по всем проблемам, представляющим общий интерес, с некоторыми соображениями по поводу урегулирования международных отношений, которого требует современное развитие науки и техники. Открывая такие широкие перспективы для повышения благосостояния человека, это развитие в то же время отдает в его руки грозные средства разрушения и тем самым бросает всей нашей цивилизации весьма серьезный вызов.

Мое участие в англо-американском проекте исследований атомной энергии во время войны дало мне возможность изложить заинтересованным правительствам свои взгляды относительно надежд, которые связывались с осуществлением проекта, и той опасности для взаимоотношений между народами, которую это может повлечь за собой. Пока еще имелась возможность того, что переговоры в ООН дадут незамедлительные результаты и соглашение об использовании атомной энергии, гарантирующее всеобщую безопасность, будет достигнуто, я неохотно принимал участие в общественных дебатах по этому вопросу. Однако в современной критической ситуации я думаю, что изложение моей точки зрения и моего опыта, возможно, будут содействовать возрождению дискуссий по этим вопросам, оказывающим такое глубокое влияние на международные отношения.

Представляя здесь свои взгляды, взгляды давно сформировавшиеся у ученого, непосредственно наблюдавшего за ходом развития в этой области, я выступаю исключительно по собственной инициативе и без консультаций с правительством какой-либо страны. Цель моего письма и излагающихся в нем соображений — указать на те исключительные перспективы дальнейшего развития взаимопонимания и сотрудничества между народами, которые открыли революционные изменения в возможностях человека, вызванные прогрессом науки, и подчеркнуть, что, несмотря на разочарование прежних лет, эти перспективы еще сохраняются и что на их реализации должны быть сосредоточены все надежды и все усилия.

Международное сотрудничество беспрецедентного размаха и силы имело решающее значение для современного быстрого развития науки, и, в частности, для смелых исследований свойств и строения атома. Плодотворный обмен опытом и идеями между учеными всего мира был великим источником вдохновения для каждого участника (исследований) и укреплял надежду, что все более тесные связи между народами позволят им сотрудничать в деле прогресса цивилизации во всех ее аспектах.

\*) В o h r N. Open Letter to the United Nations.— Science, 1950, v. 112, No. 2897, pp. 1—6. — Перевод М. М. Калипенко.

Письмо было направлено Генеральному секретарю ООН 12 июня 1950 г. и одновременно было разрешено к опубликованию.

© Перевод на русский язык, издательство «Наука». Главная редакция физико-математической литературы, «Успехи физических наук», 1985.

Однако трудности поиска общего подхода ко многим проблемам человеческого общества не могли не производить глубокого впечатления на каждого, кто сталкивался с различиями в культурных традициях и общественном устройстве разных стран. Напряженность, возросшая перед второй мировой войной, подчеркнула эти трудности и создала многочисленные препятствия свободному общению между народами. Тем не менее международное научное сотрудничество оставалось решающим фактором в развитии исследований, открывших незадолго до войны перспективу высвобождения атомной энергии в огромном масштабе.

Страх остаться позади для различных стран стал сильным стимулом для секретного исследования возможности использования таких источников энергии в военных целях. Я ничего не знал о совместном англо-американском проекте до тех пор, пока не приехал в Англию по приглашению английского правительства, вырвавшись осенью 1943 г. из оккупированной Дании. Именно тогда я был посвящен в это великое начинание, которое к тому времени уже продвинулось довольно далеко.

Конечно, каждый, кто участвовал в проекте исследований атомной энергии, осознавал те серьезные проблемы, которые должны были встать перед человечеством, когда дело будет завершено. Была очевидна не только та роль, которую атомное оружие может сыграть в войне, но и то обстоятельство, что возникнет постоянная серьезная угроза мировой безопасности, если не будет достигнуто всеобщее соглашение и не будут осуществляться меры, направленные на предотвращение злоупотребления этим новым грозным средством разрушения.

Что касается этой критической проблемы, то, как мне представлялось, сама необходимость согласованных действий по предотвращению этой злой вещи угрозы для цивилизации открывает исключительные возможности для преодоления международных разногласий. Прежде всего решающий вклад в атмосферу взаимного доверия, существенно важного для сотрудничества по многим другим вопросам, представляющим общий интерес, могли бы внести своевременные консультации между союзными державами о наилучших путях совместного достижения безопасности.

В начале 1944 г. мне была предоставлена возможность довести эти мои взгляды до внимания американского и английского правительств. В интересах взаимопонимания между народами, вероятно, следует изложить некоторые идеи, которые в то время стали предметом серьезных размышлений. С этой целью я могу привести выдержки из меморандума, представленного мной президенту Рузвельту и послужившего основой для продолжительной беседы с ним в августе 1944 г. Помимо обзора научных предпосылок проекта исследований атомной энергии, которые теперь широко известны, этот меморандум, датированный 3 июля 1944 г., содержал следующие соображения относительно политических последствий, которые может повлечь за собой осуществление этого проекта.

«Конечно, крайне трудно представить себе все последствия этого проекта в последующие годы, когда источники огромной энергии, которые появятся, по-видимому, приведут к революционным изменениям в промышленности и транспорте. Сейчас же первостепенное значение имеет тот факт, что создается оружие беспрецедентной силы, которое полностью изменит все условия ведения будущих войн.

Помимо вопроса о том, как скоро это оружие будет готово для применения и какую роль оно может сыграть в нынешней войне, эта ситуация ведет к возникновению многих проблем, требующих безотлагательного внимания. Действительно, если своевременно не будет достигнуто соглашение по контролю над использованием новых активных веществ, постоянная угроза для безопасности человечества может свести на нет любое временное преимущество, каким бы значительным оно ни представлялось.



С тех пор, как открылась возможность высвобождения атомной энергии в огромном масштабе, вопросу контроля, естественно, стало уделяться много внимания, но чем дальше продвигается исследование связанных с этим научных проблем, тем очевидней становится, что никакие обычные меры не будут достаточными для этого и что страшной перспективы конкуренции между государствами за овладение столь грозным оружием можно избежать лишь путем всеобщего соглашения, основанного на подлинном доверии.

В этой связи, прежде всего, важно, что это дело, каким бы огромным оно ни было, все же оказалось гораздо меньшим, чем можно было бы ожидать, и что по мере продвижения работы постоянно открывались новые возможности производства активных веществ и усиления их действия.

Поэтому предотвращение втайне нагнетаемого соперничества требует таких уступок в отношении обмена информацией и такой открытости (openness) при промышленных разработках, в том числе в военных приготовлениях, которые едва ли будут возможны, если все участники одновременно не будут иметь равную гарантию общей защиты от опасности небывалой силы.

Установление эффективных мер контроля, конечно, вызовет ряд сложных технических и административных проблем, но главное в том, что осуществление проекта, по-видимому, не только потребует нового подхода к проблемам международных отношений, но также, вследствие крайней необходимости взаимного доверия, будет способствовать такому подходу.

Настоящий момент, когда почти все народы вовлечены в смертельную борьбу за свободу и гуманизм, может, на первый взгляд, показаться наиболее неподходящим для какой-либо налагающей обязательства договоренности относительно проекта. Государства-агрессоры все еще обладают большой военной силой, хотя их первоначальные планы мирового господства сорваны и их окончательная капитуляция представляется несомненной, но даже когда это произойдет, государства, объединившиеся против агрессии, могут столкнуться с серьезными разногласиями, вызванными противоречиями в позиции по социальным и экономическим вопросам.

Однако при более близком рассмотрении оказывается, что именно в этих условиях возможности проекта как инструмента доверия приобретают очень актуальное значение. Более того, нынешняя ситуация в различных отношениях открывает беспрецедентные возможности, которые могут быть утрачены в случае отсрочки в ожидании дальнейшего развития военной обстановки и завершения работы над новым оружием.

В свете этих обстоятельств современная ситуация, по-видимому, очень благоприятна для своевременной инициативы, с которой должна выступить сторона, по случайному стечению обстоятельств достигшая первенства в борьбе за овладение могущественными силами природы, до сих пор человеку не доступными.

Не умаляя значения этого проекта для непосредственных военных целей, инициатива, направленная на предупреждение зловещего соперничества, должна содействовать искоренению любых причин недоверия между государствами, от мирного сотрудничества которых зависит судьба будущих поколений.

Действительно, каждая из сторон лишь тогда сможет убедиться в искренности намерений других сторон, когда объединенными нациями будет рассматриваться вопрос о том, на какие уступки готовы пойти разные страны, содействуя тем самым достижению соглашения о должном контроле.

Конечно, только ответственные государственные деятели могут увидеть фактические перспективы в политике. Однако очень хорошо, что надежды на будущее мирное международное сотрудничество, единогласно выраженные всеми сторонами в рамках объединенных наций, так замечательно согласуются с теми не известными общественности исключительными возможностями, которые были созданы прогрессом науки.

Многие доводы подкрепляют убеждение, что подход, направленный на создание системы общей защиты от зловещей угрозы и не исключаящий ни один народ из участия в перспективном промышленном развитии, связанном с выполнением проекта, будет приветствоваться и что ответом на него будет лояльное сотрудничество в осуществлении необходимых мер широкого контроля.

В этом отношении полезную поддержку, вероятно, может оказать всемирное научное сотрудничество, в течение многих лет воплощавшее в себе радужные надежды на объединение усилий человечества. На этой основе личные связи между учеными разных стран могут даже стать средством установления предварительных, не налагающих никаких обязательств контактов.

Едва ли нужно добавитъ, что подобные замечания или предложения не подразумевают недооценки трудности и щекотливости шагов, которые должны будут предпринять государственные деятели для того, чтобы достичь соглашения, удовлетворяющего все заинтересованные стороны, но лишь призваны указать на некоторые аспекты ситуации, которые могут облегчить попытки поставить проект на длительную службу общему делу».

Сложность задачи государственных деятелей, конечно, усиливалась окружающей проект секретностью, которая препятствовала осведомленности общественности о проекте и открытому обсуждению вопроса, оказывающего такое глубокое влияние на международные дела. Полностью осознавая чрезвычайный характер решений, связанных с предлагаемой инициативой, я тем не менее полагал, что будут утрачены большие возможности, если проблемы, порожденные развитием атомных исследований, не будут включены в планы союзных наций для послевоенного мира.

Эта точка зрения была развита в дополнительном меморандуме, где также обсуждались технические вопросы, связанные с мерами по обеспечению контроля. В частности, я пытался подчеркнуть, что уже сама взаимная открытость, явно необходимая сейчас для общей безопасности, будет содействовать достижению понимания между народами и расчистит путь для прочного сотрудничества. Помимо замечаний, сегодня уже не представляющих интереса, этот меморандум от 24 марта 1945 г. содержит следующие отрывки:

«Прежде всего, следует понять, что мы стоим лишь перед началом развития (исследований) и что, вероятно, в самое ближайшее время будут найдены средства, позволяющие упростить методы производства активных веществ и усилить их действие до такой степени, что любая страна, обладающая большими промышленными ресурсами, сможет овладеть силами разрушения, превосходящими все прежние ожидания».

Таким образом, человечество столкнется с беспрецедентной опасностью, если своевременно не будут приняты меры по предупреждению губительной конкуренции в области такого грозного вооружения и установлению международного контроля над производством и использованием высокоактивных материалов.

Как подчеркивалось в меморандуме, любое соглашение, обеспечивающее защиту от секретной подготовки к овладению новыми средствами разрушения, потребовало бы чрезвычайных мер. Действитель-

но, не только был бы необходим всеобщий доступ к полной информации о научных открытиях, но также любое крупное техническое начинание, будь оно промышленным или военным, должно было бы стать открытым для международного контроля.

Большое значение в этой связи имеет тот факт, что особый характер усилий, которые независимо от технических усовершенствований потребуются для производства активных веществ и специфические условия, определяющие их использование как опасных взрывчатых веществ, существенно облегчат такой контроль и обеспечат его эффективность, правда, лишь в том случае, если будет гарантировано право надзора.

Детальные предложения по установлению эффективного контроля должны быть разработаны с помощью ученых и инженеров, назначенных заинтересованными правительствами, а на постоянную экспертную комиссию, подчиненную международной организации безопасности, могла бы быть возложена обязанность следить за новыми научно-техническими разработками и давать рекомендации по соответствующим изменениям в мерах контроля.

Исходя из рекомендаций технического комитета, организация сможет определить, при каких условиях может быть разрешена промышленная эксплуатация источников атомной энергии при должных мерах предосторожности против сосредоточения активного вещества до взрывчатого состояния...

Как обосновывалось в меморандуме, весьма благоприятным представляется факт, что меры, необходимые для того, чтобы найти выход из новой ситуации, порожденной развитием науки и вставшей перед человечеством в критический момент международной обстановки, так хорошо совпадают с надеждами на тесное международное сотрудничество в будущем, которые единогласно выразили все нации, объединившиеся против агрессии.

Более того, сама новизна этой ситуации дает исключительную возможность формирования непредубежденной позиции, и достижение взаимопонимания по этому жизненно важному вопросу, по-видимому, даже сможет самым благоприятным образом содействовать разрешению других проблем, где различие в точках зрения было обусловлено причинами исторического характера и традициями.

С учетом этих широких перспектив, представляется, в частности, что свободный доступ к информации, необходимый для общей безопасности, будет иметь далеко идущие последствия в отношении устранения препятствий ко взаимной осведомленности о духовных и материальных аспектах жизни в различных странах, без которой едва ли возможно сохранение отношений уважения и доброй воли между народами.

Кроме того, участие в предприятии, инициатором которого в значительной мере явилось международное научное сотрудничество и которое открывает огромные возможности для повышения благосостояния человека, укрепило бы сложившиеся до войны тесные связи между учеными различных стран. В современной ситуации эти связи могут оказаться особенно полезными для установления (системы) контроля в свете совещаний между соответствующими правительствами.

В ходе предварительных консультаций между правительствами, призванных, прежде всего, установить доверие и ослабить тревогу, непременно должен быть рассмотрен вопрос о том, какова будет позиция каждого участника, если те возможности, которые открывает прогресс физики и которые в общих чертах широко известны, будут реализованы в такой мере, что потребуются исключительные действия...

При всех условиях взаимопонимание обязательно было бы достигнуто, если бы у партнеров была возможность для того, чтобы обдумать последствия отказа принять предложение о сотрудничестве и убедиться в преимуществах соглашения, гарантирующего общую безопасность и в то же время никого не исключаящего из участия в перспективном использовании новых источников материального процветания.

Однако все эти возможности могут быть утрачены, если инициатива не будет проявлена в то время, когда вопрос еще может рассматриваться в духе дружеских консультаций. Отсрочка в ожидании дальнейшего развития, в особенности, если подготовка к конкурентной борьбе тем временем продвинется достаточно далеко, может уподобить этот подход попытке давления, на которое не согласится ни одна великая нация...

Едва ли нужно подчеркивать, как в любом отношении было бы хорошо, если бы, когда мир узнает о грозной разрушающей силе, находящейся в руках человека, ему одновременно сообщили, что это великое достижение науки и техники помогло создать прочную основу для будущего мирного сотрудничества между народами».

Когда я обращаюсь к тем дням, мне трудно достаточно живо передать страстную надежду на то, что прогресс науки положит начало новой эре мирного сотрудничества между народами, и беспокойство, что какая-то возможность содействия такому ходу развития будет упущена.

Вплоть до конца войны я всеми доступными ученому путями стремился подчеркнуть значение осознания в полной мере политических последствий этого проекта и отстаивал ту точку зрения, что прежде чем может возникнуть вопрос об использовании атомного оружия, должно быть положено начало международному сотрудничеству по устранению новой угрозы мировой безопасности.

Я уехал из Америки в июне 1945 г. до того, как были проведены заключительные испытания атомной бомбы, и находился в Англии, когда в августе 1945 г. было официально объявлено о применении этого оружия. Вскоре после этого я вернулся в Данию и с тех пор не был связан ни с какими секретными военными или промышленными проектами в области атомной энергии.

Когда война окончилась и исчезла великая угроза порабощения столь многих народов, весь мир испытал огромное облегчение. Тем не менее политическая ситуация была полна зловещих предзнаменований. Расхождения во взглядах на будущее между странами-победительницами неизбежно усиливали противоречия по вопросам, связанным с мирным урегулированием. В противоположность надеждам на будущее плодотворное сотрудничество, выраженным всеми сторонами и нашедшим воплощение в Уставе Организации Объединенных Наций, вскоре стало очевидным отсутствие взаимного доверия.

Недоверие и беспокойство усиливалось созданием новых препятствий на пути свободного обмена информацией между странами. В науке, в особенности в области ядерной физики, сохранявшаяся секретность и ограничения, считавшиеся необходимыми по причинам безопасности, в такой степени мешали международному сотрудничеству, что мировое сообщество ученых разделилось на отдельные лагеря.

Несмотря на все попытки, переговоры в ООН до сих пор не принесли успеха в заключении соглашения относительно мер по устранению опасности, связанной с атомным вооружением. Бесплодность этих переговоров, вероятно, как ничто другое, сделала очевидным, что конструктивный подход к таким жизненно важным вопросам, представляющим общий интерес, требует атмосферы большего доверия.

Подлинное улучшение обстановки в мире едва ли мыслимо без свободного доступа ко всей информации, имеющей значение для взаимоотношений

между народами. Правда, некоторая степень взаимной открытости предусматривалась как составная часть соглашений по атомной энергии, но все более явным становился тот факт, что для того, чтобы подготовить почву для таких договоренностей, должны быть сделаны первые решающие шаги к открытости.

В той обстановке, которая сегодня преобладает в мире, идеал открытого мира с общей информированностью о социальных условиях и технических предприятиях, в том числе о военных приготовлениях в каждой стране, может показаться весьма отдаленной перспективой. Тем не менее, такие отношения между народами, несомненно, потребуются для подлинного сотрудничества в деле развития цивилизации; и даже совместное заявление о приверженности этому курсу создало бы весьма благоприятные условия для согласованных действий по обеспечению всеобщей безопасности. Более того, мне казалось, что страны, бывшие первооткрывателями в этой новой области развития техники, обладая важной информацией, имеют особую возможность выступить с инициативой, прямо предложив полную взаимную открытость.

Я счел уместным изложить эти взгляды американскому правительству, не поднимая этот щекотливый вопрос публично. Поэтому во время поездок в Соединенные Штаты в 1946 и 1948 гг. для участия в научных конференциях я воспользовался этой возможностью для того, чтобы предложить эту инициативу американским государственным деятелям. Обращение здесь к меморандуму от 17 мая 1948 г., представленному Госсекретарю в качестве основы для бесед в Вашингтоне в июне 1948 г., хотя и будет связано с повторением уже излагавшихся доводов, вероятно, позволит дать более ясное представление об обсуждавшихся идеях:

«Глубоко укоренившиеся расхождения в позициях по многим аспектам человеческих отношений, явившиеся результатом социальных и политических событий последних десятилетий, не могли не оказать серьезного воздействия на международные отношения после второй мировой войны. Хотя во время войны действия по совместной обороне в значительной мере отвлекали внимание от этих разногласий, было ясно, что осуществление надежд, провозглашенных всеми нациями, объединившимися против агрессии, надежд на искреннее сотрудничество при подлинном доверии, потребует радикально нового подхода к международным отношениям.

Необходимость перестройки этих отношений еще больше подчеркнули великие научные и технические достижения, которые, открывая радужные перспективы повышения благосостояния человека, в то же время дают в его руки грозные средства разрушения. Действительно, если предшествующий прогресс техники приводил к признанию необходимости урегулирования (отношений) внутри цивилизованных обществ, то сегодня многочисленные барьеры между государствами, до сих пор считавшиеся необходимыми для защиты национальных интересов, очевидно, могут встать на пути к общей безопасности.

Тот факт, что вызов, брошенный цивилизации, ставит перед народами вопрос большой общей значимости, дает исключительную возможность для поиска путей к устойчивому сотрудничеству по жизненно важным проблемам. Поэтому уже во время войны осознавалось, что благоприятная основа для последующих разработок может быть создана своевременной инициативой, направленной на достижение доверия на основе информированности всех партнеров о фактической ситуации, с которой, возможно, придется столкнуться, и гарантии готовности пойти на серьезные взаимные уступки относительно традиционных национальных прерогатив, которые могут потребоваться от каждой стороны.

В годы, прошедшие после войны, все более отчетливо проявлялись расхождения во взглядах, и одной из самых опасных черт современной ситуации является та степень, в которой преграды общению привели к искажению фактов и мотивов, результатом чего стало недоверие и подозрительность между нациями и даже между отдельными кругами внутри многих наций. В этих условиях надежды, возлагавшиеся на учреждение Организации Объединенных Наций, во многом не оправдались, в частности, оказалось невозможным достичь согласия в отношении контроля над вооружением, использующим атомную энергию.

В этой обстановке углубления раскола между государствами и возрастающей тревоги за будущее для изменения хода событий, по-видимому, необходимо обратиться к высшим устремлениям человечества. Предпосылкой решения этого важного вопроса, очевидно, должна стать позиция в защиту открытого мира (open world) с возможностью беспрепятственной общей информированности и взаимопонимания. Конечно, отношения уважения и доброй воли между народами невозможны без свободного доступа к информации по всем аспектам жизни в каждой стране.

Более того, надежды и опасения, связанные с достижениями техники, самым настоятельным образом подчеркивают необходимость решающих шагов к открытости как важнейшему условию прогресса и защиты цивилизации. Правда, понимание этого момента заложено в предложениях по урегулированию сотрудничества в области разработки новых ресурсов, представленных Комиссии ООН по атомной энергии, но именно трудность достижения соглашения в современных международных условиях подсказывает необходимость сосредоточить вопрос более непосредственно на проблеме открытости.

При таких обстоятельствах самое пристальное внимание, очевидно, должно быть уделено возможным последствиям выдвинутого в подходящий момент предложения о незамедлительных мерах по обеспечению открытости на взаимной основе. Такие меры должны будут соответствующим образом, обеспечивать доступ к информации любого требуемого типа, об условиях и разработках в различных странах и тем самым позволят партнерам правильно оценить ту фактическую ситуацию, с которой они сталкиваются.

Может показаться, что такого рода инициатива выходит за рамки традиционной дипломатической осторожности; тем не менее следует учитывать тот факт, что если бы эти предложения были приняты, это привело бы к радикальному улучшению обстановки в мире, причем открылись бы совершенно новые возможности для сотрудничества в атмосфере доверия и для достижения соглашения по эффективным мерам, направленным на устранение общей опасности.

Трудности, связанные с получением согласия, также не могут быть доводом против этой инициативы, поскольку, независимо от непосредственной реакции, само существование предложения такого рода должно глубоко повлиять на ситуацию в самом перспективном направлении. Действительно, всему миру была бы продемонстрирована готовность жить вместе со всеми другими народами в условиях, когда взаимоотношения и общая судьба определяются только чистосердечной убежденностью и положительным примером.

Такой подход, как ничто другое, привлек бы людей всего мира, борющихся за основные права человека, и значительно укрепил бы нравственные позиции всех сторонников подлинного международного сотрудничества. В то же время те, кто не пожелали бы вступить на предлагаемый путь, были бы поставлены в положение, которое им трудно было бы отстаивать, поскольку такая оппозиция была бы равно-

сильна признанию отсутствия веры в правоту своего собственного дела, если бы оно было раскрыто миру.

В общем, если требование открытости будет сделано вопросом первостепенной важности, тем самым будут созданы совершенно новые возможности, которые при целенаправленном осуществлении могут далеко продвинуть человечество на пути реализации такого сотрудничества в деле прогресса цивилизации, которое сегодня как никогда актуально и, несмотря на существующие препятствия, как никогда достижимо».

Соображения, изложенные в этом меморандуме, могут показаться утопическими, и то, что правительства не решаются продемонстрировать свою приверженность курсу полной взаимной открытости, возможно, объясняется трудностями, связанными с анализом последствий нетрадиционного образа действий. Тем не менее в таком курсе глубоко заинтересованы все государства независимо от различий в общественном и экономическом строе, и надежды и устремления, которые я пытался выразить в меморандуме, несомненно разделяют люди во всем мире.

Хотя сказанное здесь еще раз подчеркивает те общепризнанные трудности, с которыми столкнулся каждый народ в результате совпадения колоссального сдвига в международных делах и подлинной революции в технических средствах, отнюдь не имелось в виду, что в данной ситуации не заложены исключительные возможности. Напротив, цель сказанного — указать на необходимость пересмотра каждой стороной путей и способов сотрудничества с тем, чтобы избежать смертельной угрозы цивилизации и обратить прогресс науки на благо всего человечества.

В последние годы политические события в мире привели к росту международной напряженности, в то же время широко распространились смятение и беспокойство, вызванные перспективой соперничества между великими державами за овладение средствами, позволяющими полностью уничтожить население на больших территориях и даже сделать отдельные регионы на земле временно непригодными для жизни.

Поскольку для человечества едва ли может стоять вопрос об отказе от возможности улучшения материальных условий с помощью источников атомной энергии, для того, чтобы цивилизация уцелела, безусловно необходимо радикальное урегулирование международных отношений. Решающий момент здесь заключается в том, что любая гарантия применения прогресса науки исключительно на благо человечества предполагает такое же отношение, как то, которое необходимо для сотрудничества между народами во всех сферах культуры.

И в других областях науки последние достижения поставили нас перед ситуацией, сходной с той, которая была создана развитием атомной физики. Даже медицина, открывающая такие радужные перспективы для охраны здоровья людей во всем мире, создала средства уничтожения жизни в ужасающем масштабе, которые будут означать серьезную угрозу цивилизации, если прочно не утвердятся отношения всеобщего доверия и ответственности.

Эта ситуация требует самой непредубежденной позиции по всем вопросам международных отношений. В самом деле, в наше время более чем когда-либо необходимо правильное понимание нравственного долга и ответственности, вытекающих из мировой гражданственности. С одной стороны, прогресс науки и техники неразрывно связал между собой судьбы всех народов, с другой стороны, решительное стремление к национальному самоутверждению и социальному развитию осуществляется в различных частях нашей планеты на весьма различной культурной почве.

Целью, которую следует поставить превыше всего, должен быть открытый мир, в котором место каждой нации будет определяться только тем вкладом, который она может внести в общую культуру и ее помощью другим народам своим опытом и ресурсами. Однако пример такого рода будет иметь силу лишь в том случае, если исчезнет разобщенность и будут

разрешены свободные дискуссии по проблемам культурного и социального развития, пересекающие все границы.

Граждане любого общества могут вместе бороться за общее благосостояние только на основе широко доступной осведомленности об условиях жизни в стране. Точно так же, реальное сотрудничество между государствами по проблемам, представляющим общий интерес, предполагает свободный доступ ко всей информации, имеющей значение для их отношений. Любые соображения в пользу ограничения обмена информацией и общения, в основе которых лежит забота о национальных идеалах или интересах, следует соизмерять с положительным воздействием общей информированности и ослабления напряженности, являющихся результатом открытости.

В поиске гармонической взаимосвязи между жизнью отдельной личности и структурой сообщества всегда оставались и всегда будут оставаться многочисленные проблемы, требующие раздумья, и принципы, к которым нужно стремиться. Однако для того, чтобы народы могли извлечь пользу из опыта других народов и чтобы избежать взаимного непонимания намерений, повсеместно должен быть обеспечен свободный доступ к информации и неограниченная возможность обмена идеями.

В этой связи следует признать, что в тех странах, где новые социальные структуры создаются во временной изоляции, отмена барьеров повлекла бы за собой большие изменения в административной практике, чем там, где имеются давние традиции системы управления и международных контактов. Поэтому настоятельным требованием должна стать общая готовность помочь всем народам в преодолении трудностей такого рода.

Сегодня развитие техники достигло такого этапа, на котором средства связи позволяют превратить все человечество в единое взаимодействующее целое и на котором в то же время возможны фатальные последствия для цивилизации, если международные разногласия не будут разрешаться путем совещаний, основанных на свободном доступе ко всей относящейся к делу информации.

Уже тот факт, что знания сами по себе лежат в основе цивилизации, непосредственно указывает на открытость, как на путь к преодолению современного кризиса. Какие бы международные юридические и административные органы ни были в конечном счете созданы для стабилизации международного положения, следует понимать, что лишь полная взаимная открытость сможет эффективно содействовать установлению доверия и гарантировать общую безопасность.

Любое расширение границ нашего знания, создавая возможность формирования условий жизни человека, тем самым налагает повышенную ответственность на отдельных людей и на народы. Убедительное предостережение в этом отношении, которое мы получили в наше время, не может быть оставлено без внимания и не может не привести к общему пониманию серьезности той задачи, которая стоит перед всей нашей цивилизацией. Именно на этой основе и существуют сегодня совершенно исключительные возможности для расширения сотрудничества между народами в деле прогресса культуры во всех ее аспектах.

Я обращаюсь к Объединенным Нациям с этими соображениями в надежде, что они могут содействовать поиску реального подхода к серьезным актуальным проблемам, стоящим перед человечеством. Изложенные здесь доводы позволяют предположить, что любая инициатива с какой бы то ни было стороны, направленная на устранение препятствий для свободного обмена информацией и общения, имела бы огромное значение для поиска выхода из того тупика, в котором мы находимся сегодня, и вдохновила бы и другие народы на действия в этом же направлении. Потребуются усилия всех сторонников международного сотрудничества, как отдельных лиц, так и целых народов, чтобы создать во всех странах мнение, выражающее со все большей определенностью и силой требование открытого мира.