

530.145.6

О ДЕЙСТВИИ АТОМОВ ПРИ СОУДАРЕНИЯХ *)

Н. Бор (Копенгаген)

(Поступило 30 марта 1925 г.)

При описании взаимодействий между атомными системами представляется целесообразным, учитывая современное состояние теории, различать взаимодействия в зависимости от того, проявляют ли они «взаимосвязь» или нет. В первом случае удастся в рамках квантовой теории провести единое описание результатов, опираясь на законы сохранения классической механики и электродинамики. В другом случае в настоящее время, по-видимому, возможно только дуалистическое описание, при котором противоположные реакции участвующих систем связываются друг с другом только с помощью вероятностных законов и согласно которому законы сохранения выступают прежде всего как статистические законы. [*Прим. (автора) при корректуре.* В послесловии к настоящей работе будет более подробно показано, как, имея в виду результаты работы Гейгера и Боте по рассеянию рентгеновских лучей, опубликованной в этом же журнале, вопрос применения законов сохранения выступает в новом свете. Это влечет за собой вывод, что решение рассматриваемой проблемы едва ли может быть достигнуто предложенным в этой работе путем.]

ПОСЛЕСЛОВИЕ

(июль 1925 г.)

После того как статья была написана, исследование вопроса о строгой выполнимости законов сохранения вступило в новую фазу в связи с опубликованием Боте и Гейгером результатов их важнейших опытов по рас-

*) N. Bohr, Über die Wirkung von Atomen bei Stößen, Zs. Phys. 34, 142; 154—157 (Nachschrift) (1925). Вводные слова (аннотация) и послесловие к статье перепечатываются в переводе А. М. Френка из т. I «Избранных научных трудов» Н. Бора (М., «Наука», 1970), с. 549, 559—562.

сеянию рентгеновских лучей *). Эти опыты, по-видимому, устанавливают связь между испусканием электронов отдачи, сопровождающих рассеяние, и испусканием фотоэлектронов, вырывааемых рассеянным излучением, что соответствует квантовой теории эффекта Комптона. Однако такая связь не должна была бы существовать с точки зрения, развиваемой в работе Бора, Крамера и Слэйтера. Согласно этой точке зрения, должна существовать далеко идущая независимость процессов перехода в атомах, влияющих друг на друга посредством излучения. В основе этой работы было стремление развить описание оптических явлений на основе квантовой теории спектров. Отказ от строгого выполнения законов сохранения и связанного с этим объединения отдельных процессов перехода был вызван тем, что казался немыслимым такой пространственно-временной механизм, который допускал бы такое объединение и одновременно обеспечивал бы удовлетворительное соответствие с классической электродинамикой, которая в таких широких пределах оправдала себя при объяснении оптических явлений. При этом следует подчеркнуть, что вопрос о существовании или отсутствии связи отдельных наблюдаемых атомарных процессов нельзя просто рассматривать как различие между двумя четко определенными толкованиями распространения света в пустом пространстве, которые соответствовали бы корпускулярной или волновой теории света. Скорее всего речь идет о том, в какой степени пространственно-временные понятия, при помощи которых до сих пор пытаются объяснить явления природы, применимы в атомарных процессах. В действительности анализ оптических явлений показывает, что общие законы, управляющие наблюдаемыми процессами, едва ли могут быть сформулированы без предположения, что на испускательную способность отдельных атомов в некотором смысле влияет присутствие других атомов, как это и можно было ожидать из волновой картины распространения света. В этом отношении тот анализ этих явлений, который сделан на основе принципа соответствия в указанной работе Бора, Крамера и Слэйтера, должен был дать нечто существенное, указывая одновременно и направление дальнейшего развития этого анализа **). Однако надежда получить указанным способом общую формулировку законов квантовой теории была бы лишена основания после доказательства связи отдельных атомарных процессов. Эта связь в соответствии с теорией квантов света Эйнштейна навязывает нам корпускулярную картину распространения света. При таком положении вещей нужно быть готовым к тому, что желаемое обобщение классической электродинамики потребует решительной ломки понятий, на которых до сих пор было основано описание природы.

При решении этого вопроса существенное значение должно также иметь рассмотрение обмена материальными частицами внутри атома или при соударениях. Поскольку сделанные на основе опытных данных выводы о свойствах частиц опираются только на понятия классической электродинамики, привлечение таких понятий к анализу обменных процессов в настоящее время является неизбежным. При анализе свойств элементов на основе теории строения атома в широких пределах оправдали себя и механические модели. Символический характер этих моделей проявился, однако, прежде всего в постулате устойчивости стационарных состояний, который как раз неизбежен при объяснении процессов соударения. Как пытались доказать в предыдущей работе, эта сверхмеханическая устойчивость в явлениях соударения, названных «невзаимными», влечет за собой особенно

*) W. Bothe, H. Geiger, Zs. Phys. 33, 639 (1925).

**) Ср.: Н. А. Крамерс, Nature 113, 675; 114, 310 (1924), а также: Н. А. Крамерс, W. Heisenberg, Zs. Phys. 31, 681 (1925).

большие трудности при применении наглядных образов каждый раз, когда хотят придерживаться классических законов сохранения, играющих столь значительную роль при анализе «взаимных» процессов соударения. Поскольку однозначная связь атомарных процессов, по-видимому, представляется реальной уже в явлениях излучения, необходимо без сожаления оставить принятый в работе путь. Это тем более отрадно и потому, что ограничение справедливости законов сохранения поставило бы нас перед различного рода *размышлениями* при толковании термодинамических явлений. Если постулировать строгую выполнимость законов сохранения, то различие между взаимными и невзаимными явлениями соударения не будет иметь принципиального значения. Следует, однако, подчеркнуть, что в этом случае мы должны ожидать как для невзаимных, так и для взаимных соударений такие действия, которые несовместимы со свойствами механических моделей. Более того, возможны также действия, которые настолько же чужды применению первичных пространственно-временных образов, как чужды друг другу связь индивидуальных процессов в отдельных атомах и волновое описание оптических явлений.

В действительности подобное действие должно было бы иметь место в явлении захвата электронов быстрыми α -частицами. В настоящей статье (ср. примечание на с. 555 *) было указано, что трудность даже приближенного описания хода взаимодействия при захвате с помощью механической модели должна быть связана с ограниченной справедливостью законов сохранения при описании процессов ионизации. Поскольку этот выход теперь закрыт, мы, вероятно, вынуждены в явлениях захвата увидеть новую черту сверхмеханической устойчивости стационарных состояний, не поддающуюся описанию при помощи пространственно-временных образов. Аналогичные соотношения должны бы быть существенными и для явления торможения быстрых частиц, весьма подробно рассмотренного в настоящей статье. Таким образом, мы здесь по существу не получили из опыта представления о влиянии ядра на движение электрона в атоме. Если сделать предположение о строгом сохранении энергии, то, как указано в примечании на с. 554, мы должны считаться со значительной несостоятельностью механических законов уже при таких соударениях, когда передается энергия того же порядка величины, что и работа ионизации, и когда время соударения весьма мало по сравнению с естественными периодами обращения электронов в атоме. В то время как эта несостоятельность открывает новую возможность обойти трудности, вносимые в механическую теорию результатами измерений ионизации (ср. примечание на с. 555), она приводит к следствию, что полученное при расчете на основе механики приближенное совпадение с измерениями торможения уже не поддается простому объяснению.

Другого типа действия соударения, где речь идет об очевидном отклонении от свойств механической модели, мы встречаем в открытом Рамзоуэром факте резкого возрастания длины свободного пробега медленных электронов в некоторых инертных газах с уменьшением скорости электрона. По своей сущности этот эффект выходит за пределы предшествующей дискуссии о возможном различии взаимных и невзаимных явлений соударения. Хунду **) удалось, следуя мысли Франка, связать этот эффект с кругом идей принципа соответствия. Несмотря на это, мы имеем здесь дело, вероятно, с явлениями соударения, при которых пространственно-временные понятия, опирающиеся на классическую механику, неприменимы в такой мере,

*) Здесь и далее речь идет о примечаниях к основной статье, перевод которой опубликован в т. I «Избранных научных трудов» Н. Бора (М., «Наука», 1970, с. 549). (Прим. ред.)

**) F. Hund, Zs. Phys. 13, 241 (1923).

что они напоминают те парадоксы, которые появились при анализе явлений излучения.

Отказ от пространственно-временных образов характерен для формального рассмотрения проблем теории излучения и механической теории теплоты. Подобное рассмотрение было предпринято в недавно появившихся работах де Бройля *) и Эйнштейна **). С точки зрения перспективы, которую открывают эти работы, я считал бы, что содержащиеся в настоящей работе соображения могут иметь некоторый интерес. Поэтому я решил опубликовать эту работу без изменений, хотя лежащие в ее основе стремления теперь могут показаться, пожалуй, безнадежными.