

ББК  
72  
НЗ40

# НАУКА ВЕЛИЧАЙШИЕ ТЕОРИИ

## НИЛЬС БОР

26

### Квантовая модель атома



### Квантовый заграничный паспорт

DeAGOSTINI

# НИЛЬС БОР

Квантовая модель атома

---

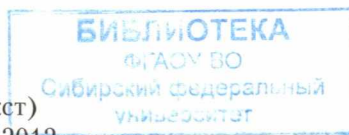
## Квантовый загранпаспорт

**Наука. Величайшие теории:** выпуск 26: Квантовая модель атома. Нильс Бор. Квантовый загранпаспорт. / Пер. с исп. — М.: Де Агостини, 2015. — 152 с.

Нильс Бор — одна из ключевых фигур квантовой революции, охватившей науку в XX веке. Его модель атома предполагала трансформацию пределов знания, она вытеснила механистическую модель классической физики. Этот выдающийся сторонник новой теории защищал ее самые глубокие физические и философские следствия от скептиков вроде Альберта Эйнштейна. Он превратил родной Копенгаген в мировой центр теоретической физики, хотя с приходом к власти нацистов был вынужден покинуть Данию и обосноваться в США. В конце войны Бор активно выступал за разоружение, за интернационализацию науки и мирное использование ядерной энергии.

558049

ISSN 2409-0069



© Jaime Navarro, 2012 (текст)  
© RBA Coleccionables S.A., 2012  
© ООО «Де Агостини», 2014–2015

Иллюстрации предоставлены:

Aci Online: 119b; Age Fotostock: 27a, 27b, 73a, 73b, 93a, 93b;  
Album: 20; American Physical Society: 126; Archivo RBA:  
29, 51, 65, 91, 97, 140; Archivos Nacionales y Administración  
de Documentos de EE UU: 132; Biblioteca del Congreso de  
EE UU: 25; Biblioteca Nacional de Medicina de EE UU: 56;  
Getty Images: 143a; 143bi; 142bd; Index: 32; Instituto Danés de  
Cinematografía: 119a; Museo Nacional de Estocolmo: 39; Museo  
Nacional de Historia de Dinamarca: 82; NASA: 85; Princeton  
Plasma Physics Laboratory: 111; The Rockefeller Archive  
Center: 138; Joan Pejoan.

Все права защищены.  
Полное или частичное воспроизведение  
без разрешения издателя запрещено.

# Содержание

|  |     |
|--|-----|
| <b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....                                      | 7   |
| <b>глава 1.</b> Бор играет с электронами .....             | 15  |
| <b>глава 2.</b> Электроны играют с Бором .....             | 47  |
| <b>глава 3.</b> Катализатор квантового мира .....          | 79  |
| <b>глава 4.</b> Битва титанов: дебаты Эйнштейн — Бор ..... | 107 |
| <b>глава 5.</b> Мир во время войны .....                   | 135 |
| <b>СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....               | 147 |
| <b>УКАЗАТЕЛЬ</b> .....                                     | 149 |

## Введение

«Быть или не быть, вот в чем вопрос». Эту самую известную фразу в мировой литературе Шекспир вложил в уста загадочного принца Датского Гамлета. Герой книги, которую читатель держит в руках, Нильс Бор — не выдуманный персонаж, хотя многие моменты в его жизни напоминают скорее легенду. Этот физик (датчанин, как и Гамлет) не только повлиял на научную панораму своей страны, но и радикально изменил понимание атома и даже само представление о науке.

Быть или не быть? Бор, вероятно, задавался этим вопросом бесчисленное множество раз: когда, исследуя электроны и их орбиты, был вынужден ввести постоянную Планка для объяснения структуры атома; когда решил превратить Копенгаген в центр теоретической физики своего времени, несмотря на замечательные предложения, которые поступали ему из других стран; когда опроверг привычную идею, что наука позволяет нам узнать действительность; когда полемизировал с Альбертом Эйнштейном по поводу каузальности в физике; когда видел, как многие его коллеги и друзья оказывались жертвами политики Третьего рейха; когда сперва принял участие в создании атомной бомбы, а затем стал активистом ядерного разоружения.

Нильс Бор был одним из самых влиятельных и цельных физиков первой половины XX века, а может, даже самым вы-



дающимися. Пусть нелегко сравнивать двух гениев такого масштаба, многие считают, что по значимости Бор превосходит Эйнштейна. Немецкий физик, чьи идеи произвели революцию в электродинамике, гравитации и космологии, был примером ученого-одиночки, в то время как Бор всегда работал с людьми и даже имел круг последователей.

Чем обычно занимается человек науки? Самый простой ответ на этот вопрос — «разгадыванием секретов Вселенной», но если бы все было так, работа большинства ученых провалилась бы. Чуть более сложный ответ мог прозвучать следующим образом: «систематическим исследованием природы для ее лучшего понимания и контроля, чтобы получать большую пользу от развития технологий». Этот ответ ближе к действительности, но его все еще недостаточно, поскольку он не включает в себя социальную, философскую, политическую и экономическую сферы.

Жизнь и карьера Бора помогут нам лучше понять эту многосторонность научной деятельности, поскольку его вклад охватывает все возможные области науки. И в этом большое отличие Бора от Эйнштейна, которого обычно представляют работавшим изолированно, в одиночку противостоявшим миру с его секретами, которому были чужды современники, особенно другие ученые, хотя все обстояло не совсем так.

Рассмотрев жизнь Бора, мы осознаем, что нашим пониманием атома и его недр мы обязаны не просто волшебному «открытию», блестящей идее или беспрецедентному эксперименту: оно идет от трансформации границ знания. На самом деле понимание атома стало возможным благодаря концентрации на самой концепции «знания» в науке.

Другими словами, Бор сумел лучше понять поведение субатомных частиц, поскольку не задавался теми же вопросами, которые интересовали его предшественников. С помощью этих вопросов люди пытались объяснить все происходящее в природе. В соответствии с механической моделью они представляли себе мир как завод, полный пружин и блоков, сил и натяжений. Данная традиция восходит к Декарту и Ньютону, и она давала плоды более двух веков. Но атомная и ядерная

физика показали очевидные пределы этой эпистемологической модели, и Бор решился изменить их.

Эти философские предпосылки демонстрируют, что многие великие потрясения в науке не объясняются простым линейным и необходимым процессом, они тесно связаны с понятийными трансформациями представления о том, что такое наука и как она работает. Когда в 1913 году Бор предложил свою модель атома, многие ее не приняли не потому, что она не работала, а потому что она не была «наукой» в привычном на тот период понимании.

Дело в том, что новая наука об атоме, об атомном ядре и элементарных частицах, развивавшаяся в течение жизни Бора, поставила под сомнение сами понятия, которыми она оперировала. Атом, греческий корень которого предполагает простоту и неделимость, оказался системой субатомных частиц, и первым из них был открыт электрон. Таким образом атом лишился своего положения основного компонента материи и сам оказался сложной системой. Первая модель Бора, появившаяся до Первой мировой, включала в себя только центральное ядро, вокруг которого располагались электроны, причем их особенное распределение уже выходило за пределы понятия «орбита», упраздненного спустя 15 лет.

Термин «элементарная частица» также претерпел радикальные изменения по воле Бора. В первые годы XX века элементарные частицы, в том что касается их свойств простоты и неделимости, стали играть роль «атомов». Однако вскоре квантовая механика потребовала отказаться от «элементарного» характера элементарных частиц. Такие явления, как радиоактивность, могли быть объяснены только с учетом эквивалентности материи и энергии, введенной Эйнштейном, и трансформации одних частиц в другие. В результате в употребление вошли такие выражения, как «образование» и «расщепление» частиц. Более того, любая частица являлась также волной, а любая волна (как свет) — частицей. В новой физике сохранялись привычные термины, но радикально изменилось их значение.

Пример Бора показывает, что задача некоторых ученых — не только работать в лаборатории, выводить формулы и теории и присутствовать на конгрессах. Они также должны уметь добиваться финансирования исследовательских объединений и распоряжаться этими средствами. В данной области Бор был мастером, из ничего ему удалось создать огромный институт физики у себя на родине и превратить его в центр квантовой революции в 1920–1930-е годы. В его стенах побывали все значимые физики в истории становления квантовой механики, и Бор выступил катализатором этих глубоких изменений.

Действительно, одна из интерпретаций квантовой физики получила название «копенгагенской», Бор сформулировал ее в 1927 году. В этом подходе были поставлены под сомнение такие идеи, как каузальный детерминизм, траектория частицы и само понятие частицы, локализованной в пространстве-времени. Эта интерпретация привела его к полемике с Эйнштейном, который не принимал неопределенность физики, предложенную Бором. Для немецкого физика вероятности для предсказания возможных результатов эксперимента — это плод нашего невежества; для Бора контингенция (случайность) есть свойство самого мира, и нет никакого смысла пытаться выйти за пределы вероятностных прогнозов, когда речь идет об атомных и ядерных явлениях.

На карьере Бора заметно сказались обе мировые войны. Первая разразилась, когда он формулировал принципы своей модели атома, и нарушение связей в физическом сообществе повлияло на принятие его теории в научных кругах. В то же время нейтралитет Дании позволил ему продолжить работу во время конфликта и после окончания войны превратить недавно созданный Институт теоретической физики в место, где ученые со всего мира, будь то представители стран-победителей или побежденных, могли встречаться без каких-либо дипломатических проблем.

Зато ущерб от Второй мировой войны оказался тяжелым вдвойне. Преследование так называемой «еврейской» науки гитлеровским режимом поставило Бора перед моральным выбором. В итоге он принял решение воспользоваться своими



связями и источниками финансирования и помочь бежать как можно большему числу преследуемых немецких ученых. Дальнейшая эскалация военного конфликта привела его к активному участию в создании атомной бомбы, в Проекте Манхэттен.

Пока война набирала обороты, произошла одна из самых известных встреч в истории физики XX века — встреча Бора и его бывшего ученика и друга Вернера Гейзенберга, которого нацисты «наняли» для создания атомной бомбы в завоеванной Гитлером Дании. Неизвестно, о чем они говорили, хотя имеется множество предположений, в любом случае эта встреча — яркий пример этической проблемы, с которой часто сталкиваются ученые.

После Хиросимы и Нагасаки Бор начал битву за мир, разоружение и интернационализацию науки и занял важную позицию в международной политике первых лет холодной войны. В этом Бор не был одинок. Многие его современники ввязались в неразрешимый моральный конфликт, поставивший в трудное положение тех, кто мечтал о научном прогрессе. Многие упрекали Бора в наивности. Он предлагал то, что радикально отличалось от последующего хода событий холодной войны. Бор считал, что мир возможен, только если страны откажутся от закрытости своих технических и научных разработок, особенно в том, что касается вооружения. А когда нет стран, превосходящих другие по вооружению, нет агрессоров, и мир обеспечивается на глобальном уровне.

«Быть или не быть, вот в чем вопрос». Как и принц Гамлет, Бор сталкивался с этой дилеммой много раз за свою карьеру. Но он был далек от озлобленности и мрачного безумия, в которых пребывал шекспировский персонаж, искавший мира в несуществующем прошлом. Бор пытался реализовать свои принципы и превозмочь научные, философские и социальные противоречия, призвав на помощь воображение, ответственность и творчество. Таким он и остался в истории: Бор считается отцом поколения, изменившего физику.

- 1885** 7 октября в Копенгагене на свет появляется Нильс Хенрик Давид Бор.
- 1911** Защищает в Копенгагенском университете докторскую диссертацию по электронной теории металлов.
- 1912** Переезжает в Манчестер, где с небольшими перерывами живет до 1916 года. Женится на Маргрет Норлунд.
- 1913** Формулирует свою модель атома.
- 1916** Удостаивается звания профессора в Копенгагене.
- 1918** Формулирует принцип соответствия.
- 1921** В Копенгагене открывается Институт теоретической физики.
- 1922** Бор удостоивается Нобелевской премии по физике за работу в области структуры атома и радиации.
- 1924** Начало сотрудничества, а также дружбы с Вернером Гейзенбергом.
- 1925** В своей первой статье Гейзенберг формулирует новую квантовую механику. Через год и Эрвин Шрёдингер публикует подтвердившуюся теорию. Эта трехсторонняя дискуссия (при участии Бора) дает в результате так называемую «копенгагенскую интерпретацию» основ квантовой механики; Шрёдингер и Эйнштейн ее не признавали.
- 1927** Бор формулирует принцип дополненности в Комо (Италия).
- 1932** «Чудесный год» для ядерной физики: открытие нейтрона и позитрона, запуск первого ускорителя частиц; все это происходит в Кембридже.
- 1933** До конца Второй мировой войны Бор находит в дружественных странах убежище физикам — жертвам нацистского режима.
- 1935** Запускает проект по созданию ускорителя частиц в Дании.
- 1939** Открытие расщепления ядра.
- 1943** Бор с женой переезжают в США.
- 1945** Атомная бомбардировка Хиросимы и Нагасаки. Бор начинает кампанию за «открытый мир».
- 1947** Становится кавалером Ордена Слона, высшей национальной награды Дании.
- 1962** Умирает 18 ноября в Копенгагене.
- 1965** Институт теоретической физики получает название Института Нильса Бора.