РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. А. И. ГЕРЦЕНА

Факультет физики

 **Курсовая работа**

по дисциплине "Теоретическая физика"

на тему: «Жизнь и достижения Нильса Бора»

Выполнил: студент 5 курса, 3 группы

Поликарпова Т.Л.

 \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

 (подпись)

 Принял: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

 (должность, ученая степень)

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

 (подпись)

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(Фамилия И.О.)

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(Дата)

 Санкт-Петербург

2005 г.

Главное, чтобы работало,

 а веришь ты в это или нет — не важно

Датский физик Нильс Хенрик Давид Бор родился 7 октября 1885 г. в Копенгагене и был вторым из трех детей Кристиана Бора и Эллен (в девичестве Адлер) Бор. Его отец был известным профессором физиологии в Копенгагенском университете; его мать происходила из еврейской семьи, хорошо известной в банковских, политических и интеллектуальных кругах. Их дом был центром весьма оживленных дискуссий по животрепещущим научным и философским вопросам, и на протяжении всей своей жизни Бор размышлял над философскими выводами из своей работы.

Родители рано заметили выдающиеся способности сына и способствовали их развитию. Вместе со своим младшим братом Харальдом, впоследствии крупным математиком, Нильс рос в чрезвычайно благоприятном для развития его способностей социальном и научном окружении: «Я рос в семье с глубокими духовными интересами, где обычными были научные дискуссии; да и для моего отца вряд ли существовало строгое различие между его собственной научной работой и его живым интересом ко всем проблемам человеческой жизни». Так говорил Бор позднее о своем родительском доме.

Он учился в Гаммельхольмской грамматической школе в Копенгагене и окончил ее в 1903 г. Бор и его брат Гаральд, который стал известным математиком, в школьные годы были заядлыми футболистами; позднее Нильс увлекался катанием на лыжах и парусным спортом.

Еще будучи учеником, Нильс Бор под руководством своего отца проводил небольшие физические опыты. В школьные годы для него не существовало трудностей, о которых вспоминали впоследствии другие известные физики. И в университете успехи молодого Бора были столь велики, что уже на втором году обучения профессор мог использовать его в качестве помощника. Вспомним о молодом Эйнштейне, которому после получения диплома так долго пришлось ждать места ассистента в высшей школе!

За экспериментальное исследование поверхностного натяжения воды, которое он провел в 1907 году в лаборатории своего отца на основе работ Рэлея, известного английского физика и лауреата Нобелевской премии, студент Бор был награжден золотой медалью Копенгагенской Академии наук. Это исследование осталось, собственно, его единственной большой экспериментальной работой. Обладая ярко выраженными склонностями и к экспериментальной физике, Бор принадлежал к тем физикам-теоретикам, которые экспериментировали только в годы своей юности.

Как и многие экспериментаторы того времени, Бор проводил свои опыты, используя самодельные приборы. При этом он работал с такой необычайной основательностью, что окончание работ всегда слишком затягивалось. Как он позднее рассказывал, отцу приходилось отсылать его к деду с бабушкой, чтобы там в сельском уединении, вдали от лаборатории, он наконец мог приступить к изложению на бумаге достигнутых результатов и их оценке.

Начинающий физик интересовался также и гуманитарными науками. Лекции философа Хёффдинга по формальной логике и по теории познания он слушал регулярно и так внимательно, что даже мог указать ученому на некоторые ошибки, допущенные им в одной из работ.

Лекции по философии имели для Бора только информативное значение. Хёффдинг не пытался выработать у своих слушателей определенную философскую систему; он излагал студентам проблемы философии, следуя процессу их развития в истории духовной жизни человечества, как бы заставляя слушателей участвовать в попытках отдельных философов и философских школ дать ответ на основные проблемы мышления.

По-видимому, молодой Бор не увлекся ни одной из философских систем. Однако известно, что ему очень нравились некоторые мысли Спинозы. Охотно читал он также сочинения своего соотечественника Кьеркегора, одного из предшественников экзистенциализма, восхищаясь больше их блестящим стилем, чем содержанием. Но более всего своим вниманием к философии Бор был обязан непритязательной книжке одного датского автора, в юмористической форме толковавшей диалектику Гегеля.

Дипломный проект Бора, в котором он определял поверхностное натяжение воды по вибрации водяной струи, принес ему золотую медаль Датской королевской академии наук. Степень магистра он получил в Копенгагенском университете в 1909 г. Его докторская диссертация по теории электронов в металлах считалась мастерским теоретическим исследованием. Среди прочего в ней вскрывалась неспособность классической электродинамики объяснить магнитные явления в металлах. Это исследование помогло Бору понять на ранней стадии своей научной деятельности, что классическая теория не может полностью описать поведение электронов.

Осенью 1910 г. Эрнста Резерфорда обуревали мучительные раздумья. Он пытался понять, как устроен атом. Эксперименты по рассеянию альфа-частиц различными веществами убедительно свидетельствовали: внутри атома находится некое массивное тело (в 1912 г. Резерфорд назовет его ядром). Проблема состояла в том, какой заряд оно несет - положительный или отрицательный?

Если отрицательный, то сохранялись "пробелы" томсоновской модели атома. Ибо оставалось неясным, чем обусловлен положительный заряд сферы. И какое же количество электронов потребно, чтобы обеспечить атому соответствующую "весомость"?

А если положительный? Тогда модель просто утрачивала черты реальности. Электроны, которые двигались по орбитам в соответствии с классической электродинамикой, должны были непрерывно излучать энергию. И, в конечном счете, поглощаться положительно заряженной сердцевиной.

И тем не менее в мае 1911 г. Резерфорд опубликовал статью "Рассеяние альфа- и бета-частиц в веществе и Структура атома". Понимая всю уязвимость своей позиции, он, однако, приписал ядру заряд "+".

Правда, статью он предварил примечательной оговоркой: "Вопрос об устойчивости предлагаемого атома на этой стадии не следует подвергать рассмотрению, ибо устойчивость окажется, очевидно, зависящей от тонких деталей структуры атома и движения составляющих его заряженных частей".

Так появилась на свет ядерно-электронная модель атома. Она была подобна Солнечной системе: вокруг ядра-Солнца вращались электроны-планеты. Этой модели суждено было сыграть огромную роль в создании новейшей атомистики. Но никто из корифеев физики поначалу не обратил на нее внимания. В этой науке существовали другие проблемы, считавшиеся более значимыми и насущными.

Резерфорд внутренне был убежден в реальности своего "химерического" атома. На многие вопросы его модель давала удовлетворительные ответы. Нейтральность атома обуславливалась положительным ядром и отрицательным электронным "окружением". Массивное ядро определяло величину атомного веса. Вылет альфа-частиц также получал приемлемое объяснение. А легко отрывающиеся "орбитальные" электроны участвовали в образовании химических связей между атомами. Эти достоинства перевешивал один-единственный, но фатальный недостаток.

Чтобы избавиться от него, требовалось нечто, не укладывавшееся в привычные рамки научных представлений.

Той же весной 1911 г. в Копенгагенском университете защитил диссертацию Нильс Бор. Она касалась теории движения электронов в металлах. Ему недавно исполнилось двадцать пять лет, и он стремился достичь весомых успехов в науке. Бор в то время "был глубоко захвачен томсоновскими оригинальными мыслями об электронной структуре атомов", и потому работа в Кавендишевской лаборатории казалась ему особо привлекательной.

Там Бор и познакомился с Резерфордом. А уже в марте 1912 г. перебрался к нему в Манчестер.

И поверил в его атомную модель.

Бор испытывал особый интерес к этому очевидному парадоксу классической физики, который выявил Резерфорд, поскольку все слишком напоминало те трудности, с которыми он столкнулся при работе над диссертацией. Возможное решение этого парадокса, как полагал он, могло лежать в квантовой теории.

 В 1900 г. Макс Планк выдвинул предположение, что электромагнитное излучение, испускаемое горячим веществом, идет не сплошным потоком, а вполне определенными дискретными порциями энергии. Назвав в 1905 г. эти единицы квантами, Альберт Эйнштейн распространил данную теорию на электронную эмиссию, возникающую при поглощении света некоторыми металлами (фотоэлектрический эффект).

Бор вспоминал впоследствии: "…весной 1912 г. я пришел к убеждению, что электронное строение атома Резерфорда управляется с помощью кванта действия". Вот ход его рассуждений. Диаметр атома составляет около одной стомиллионной доли сантиметра. В нем имеются электрические заряды определенной величины; их носителями служат тела определенной массы. Как, имея это в виду, объяснить размер атома? Заряды и массы не позволяют вывести величину, имеющую размерность длины. Значит, либо существуют некие иные силы, действующие на расстоянии атомного радиуса (но они неизвестны), либо должны играть роль характерные константы, позволяющие вместе с зарядом и массой получить величину размерности длины.

Такой константой могла быть только постоянная Планка. Так Бор ввел кванты в теорию атома.

Летом 1912 г. Б. вернулся в Копенгаген и стал ассистент - профессором Копенгагенского университета. В этом же году он женился на Маргрет Норлунд. У них было шесть сыновей, один из которых, Oгe Бор, также стал известным физиком

Свою теорию Бор изложил в статье "О строении атомов и молекул" 5 апреля 1913 г. В ней содержались два основных постулата. Согласно первому в атоме существуют "разрешенные" стационарные орбиты. Двигаясь по ним, электрон не излучает энергии. В соответствии с другим он может "перескочить" на более близкую к ядру стационарную орбиту. При этом испускается квант энергии.

Говоря научным языком, он предположил, что угловой момент электрона квантуется. Далее он показал, что в этом случае электрон не может находиться на произвольном удалении от атомного ядра, а может быть лишь на ряде фиксированных орбит, получивших название «разрешенные орбиты». Электроны, находящиеся на таких орбитах, не могут излучать электромагнитные волны произвольной интенсивности и частоты, иначе им, скорее всего, пришлось бы перейти на более низкую, неразрешенную орбиту. Поэтому они и удерживаются на своей более высокой орбите, подобно самолету в аэропорту отправления, когда аэропорт назначения закрыт по причине нелетной погоды.

Однако электроны могут переходить на другую разрешенную орбиту. Как и большинство явлений в мире квантовой механики, этот процесс не так просто представить наглядно. Электрон просто исчезает с одной орбиты и материализуется на другой, не пересекая пространства между ними. Этот эффект назвали «квантовым прыжком», или «квантовым скачком». Позже этот термин обрел широкую популярность и вошел в наш лексикон со значением «внезапное, стремительное улучшение» («Настоящий квантовый скачок в технологии производства наручных часов!»). Если электрон перескакивает на более низкую орбиту, он теряет энергию и, соответственно, испускает квант света — фотон фиксированной энергии с фиксированной длиной волны. На глаз мы различаем фотоны разных энергий по цвету — раскаленная на огне медная проволока светится синим, а натриевая лампа уличного освещения — желтым. Для перехода на более высокую орбиту электрон должен, соответственно, поглотить фотон.

В картине атома по Бору, таким образом, электроны переходят вниз и вверх по орбитам дискретными скачками — с одной разрешенной орбиты на другую, подобно тому, как мы поднимаемся и спускаемся по ступеням лестницы. Каждый скачок обязательно сопровождается испусканием или поглощением кванта энергии электромагнитного излучения, который мы называем фотоном.

Хотя модель Бора казалась странной и немного мистической, она позволяла решить проблемы, давно озадачивавшие физиков. В частности, она давала ключ к разделению спектров элементов. Когда свет от светящегося элемента (например, раскаленная на огне медная проволока ) проходит через призму, он дает не непрерывный включающий все цвета спектр, а последовательность дискретных ярких линий, разделенных более широкими темными областями. Согласно теории Бора, каждая яркая цветная линия (т.е. каждая отдельная длина волны) соответствует свету, излучаемому электронами, когда они переходят с одной разрешенной орбиты на другую орбиту с более низкой энергией. Бор вывел формулу для частот линий в спектре водорода, в которой содержалась постоянная Планка. Частота, умноженная на постоянную Планка, равна разности энергий между начальной и конечной орбитами, между которыми совершают переход электроны. Теория Бора, опубликованная в 1913 г., принесла ему известность; его модель атома стала известна как атом Бора.

Десять лет спустя Планк говорил, что смелость теории атомного механизма Бора и полнота его разрыва с укоренившимися и якобы надежными воззрениями не имеет себе равных в истории физической науки. Теория Бора блестяще согласовалась с фактами, что как раз и является важнейшей задачей теории. Наряду с несомненным дарованием в «искусстве синтеза» он обнаружил также отчетливое понимание действительности.

В результате того, что Бор ввел во внутриатомную динамику два кажущиеся произвольными постулата о квантах, точное математическое изложение которых было дано Зоммерфельдом, Бор смог построить удовлетворительную модель атома водорода как самого простого атома. «Тогда как первый постулат подчеркивает общую устойчивость атома, второй прежде всего имеет в виду существование спектров, состоящих из резких линий». Так объяснял Бор оба квантовых условия в своем нобелевском докладе.

Действительно, таким образом могли быть объяснены многие основополагающие результаты спектроскопических исследований. Бор смог расшифровать оптическое явление, которое до того не было разгадано: расположение спектральных линий атома водорода, закономерность которого установил в 1885 году швейцарский физик Иоганн Якоб Бальмер.

Бальмер, имевший значительные заслуги в разработке основанного Бунзеном и Кирхгофом спектрального анализа, был первым, кто в эмпирически найденной формуле математически описал расположение спектральных линий, которые испускаются атомом водорода при электрическом разряде или при тепловом движении. Под непосредственным влиянием исследований Штарка по динамике атома Бору удалось убедительно, с точки зрения физики объяснить «серию Бальмера» и с помощью своей атомной модели вывести предложенную Бальмером формулу.

Посредством применения понятия кванта в атомном учении стало возможным решить загадку спектральных линий и по крайней мере в общих чертах объяснить поразительную устойчивость атомов, строение их электронных оболочек и периодическую систему элементов. Теория спектральных линий Бора открыла новую область исследований.

«Большое количество экспериментального материала, полученное спектроскопией в течение нескольких десятилетий, – писал Гейзенберг, – теперь, при изучении квантовых законов движения электронов, стало источником информации. Для той же самой цели могли быть использованы многие эксперименты химиков. Имея дело с этим экспериментальным материалом, физики постепенно научились ставить правильные вопросы. А ведь часто правильно поставленный вопрос означает больше чем наполовину решение проблемы».

Научное достижение 27-летнего датчанина было преобразующим, революционным. Он смог совершить его только потому, что ему не мешала идти вперед консервативная направленность ума, излишнее благоговение перед классическими преданиями. Поэтому Бор, а не Планк стал творцом атомной механики и истинным вождем «квантовых теоретиков».

При этом нельзя, конечно, забывать, что основополагающая идея квантования энергии принадлежит не Бору, а Планку. Бор воспринял ее у Планка: в форме эйнштейновского квантового учения, которое уже в основном выходило за рамки гипотезы Планка. Итак, путь идеи проходил от Планка через Эйнштейна к Бору.

«Полвека спустя введение дискретных квантовых состояний электронной системы атома может показаться чем-то само собой разумеющимся, – говорил Джеймс Франк. – Казалось, если бы Бор не ввел эту идею, то вскоре кто-нибудь другой пришел бы к тому же выводу. Такое мнение в корне ошибочно. Сколько мужества, независимости и сосредоточенности на существенном было необходимо, показывает та медлительность, с которой эта идея находила признание у огромной массы физиков».

Так как планковская квантовая гипотеза в то время еще считалась спорной, не удивительно, что попытка Бора основать модель атома на понятии квантов не имела сначала у физиков большого успеха. Некоторым теория Бора казалась «поразительным гибридом, полученным с помощью прививки некоторых черт квантовой теории, исходящей из представлений о прерывности материи, к теории планетных орбит – типичной классической теории, рассматривающей мир как нечто непрерывное», как писал в автобиографии Норберт Винер, основатель кибернетики.

Резерфорд, несмотря на некоторые сомнения, воспринял модель атома Бора с одобрением; но другие известные физики-атомщики решительно отклонили ее. К их числу относился и английский лауреат Нобелевской премии Дж.Дж. Томсон, который приобрел мировую славу благодаря открытию электрона, а также благодаря другим основополагающим достижениям в области исследования атома и который выдвигал свою модель атома.

Арнольд Зоммерфельд, посвятивший впоследствии все свои силы разработке теории атома Бора, вначале также не хотел ничего знать о применении объяснения «серии Бальмера» к модели атома. В дальнейшем фундаментальные исследования Зоммерфельдом тонкой структуры линий водорода и его расчет возможных орбит электронов с учетом моментов теории относительности способствовали тому грандиозному подъему атомизма, который в значительной степени привел к стиранию границы между физикой и химией. Его труд «Строение атома и спектральные линии» считается классической монографией раннего периода современной теории атома.

 «Работа Бора в первые годы после ее появления была мало известна в Германии, – писал Джеймс Франк в статье о Нильсе Боре в «Натурвиссеншафтен» в 1963 году. – Литературу лишь бегло просматривали, и так как в то время среди физиков господствовало откровенное недоверие к успешности попыток сконструировать модель атома при тогдашнем уровне знаний, то мало кто давал себе труд внимательно прочитать работу. Особо следует отметить, что Густав Герц и пишущий эти строки вначале были неспособны понять огромное значение работы Бора». Работы Франка и Герца по возбуждению спектральных линий путем облучения атомов электронами решительным образом поддерживали воровское понимание строения атома и подтверждали это понимание в его основе. Оба физика работали в Физическом институте Берлинского университета.

Оценив важность работы Бора, Резерфорд предложил ему ставку лектора в Манчестерском университете – пост, который Бор занимал с 1914 по 1916 г. В 1916 г. он занял пост профессора, созданный для него в Копенгагенском университете, где он продолжал работать над строением атома. В 1920 г. он основал Институт теоретической физики в Копенгагене; за исключением периода второй мировой войны, когда Бора не было в Дании, он руководил этим институтом до конца своей жизни. Под его руководством институт сыграл ведущую роль в развитии квантовой механики (математическое описание волновых и корпускулярных аспектов материи и энергии). В течение 20-х гг. боровская модель атома была заменена более сложной квантово-механической моделью, основанной главным образом на исследованиях его студентов и коллег. Тем не менее атом Бора сыграл существенную роль моста между миром атомной структуры и миром квантовой теории.

Бор был награжден в 1922 г. Нобелевской премией по физике «за заслуги в исследовании строения атомов и испускаемого ими излучения». При презентации лауреата Сванте Аррениус, член Шведской королевской академии наук, отметил, что открытия Бора «подвели его к теоретическим идеям, которые существенно отличаются от тех, какие лежали в основе классических постулатов Джеймса Клерка Максвелла». Аррениус добавил, что заложенные Бором принципы «обещают обильные плоды в будущих исследованиях».

Последующие несколько лет Бор посвятил детальной разработке квантовой теории атома.

Однако теория не была лишена противоречий. В самом деле: представление о стационарных орбитах электронов опиралось на планковскую теорию, а расчет этих орбит основывался на методах классической механики и электродинамики. Не без юмора заметил в свое время Генри Брэгг: в теории Бора мы "как бы должны по понедельникам, средам и пятницам пользоваться классическими законами, а по вторникам, четвергам и субботам - квантовыми".

Во второй половине 20-х гг. на смену квантовой теории пришла квантовая механика. Бор немало сделал для ее становления и интерпретации.

На заседании Физического общества в Копенгагене 18 октября 1921 г. Бор прочел доклад: "Строение атома и физические и химические свойства элементов", в котором изложил основные положения теории периодической системы. Он объяснял то, перед чем вставал в тупик Дмитрий Иванович Менделеев: глубинные причины периодического изменения свойств. "Последовательность элементов распадается на различные периоды, внутри которых их химические свойства изменяются известным характерным образом, - говорил Бор. - Для истолкования этой закономерности естественно предположить отчетливое распределение электронов в атоме таким образом, что расположение групп элементов в системе следует приписать постепенному образованию электронных групп в атоме по мере увеличения атомного номера".

Эти "электронные группы" Бор назвал "квантовыми орбитами"; несколько позже их станут называть "оболочками" и "подоболочками". Бор далее предложил четкую схему последовательного формирования электронных конфигураций атомов, с тех пор, по существу, не претерпевшую заметных изменений. И иллюстрировал свои представления лестничной формой периодической системы.

Безусловно, схема эта не имела строгого теоретического вывода. Она опиралась на эмпирические факты изменения свойств элементов в таблице Менделеева и на их характеристические рентгеновские спектры. Правильнее сказать, Бор не "вывел" периодической системы, а лишь объяснил ее, пользуясь квантовой моделью строения атома. Для "вывода" же потребовались принципиально новые идеи и методы. Их предоставила квантовая механика.

Бор написал много работ, посвященных проблемам эпистемологии (познания), возникающим в современной физике. В 20-е гг. он сделал решающий вклад в то, что позднее было названо копенгагенской интерпретацией квантовой механики. Основываясь на принципе неопределенности Вернера Гейзенберга, копенгагенская интерпретация исходит из того, что жесткие законы причины и следствия, привычные нам в повседневном, макроскопическом мире, неприменимы к внутриатомным явлениям, которые можно истолковать лишь в вероятностных терминах.

Основные идеи квантовой механики, несмотря на её формальные успехи, в первые годы оставались во многом неясными. Для полного понимания физических основ квантовой механики, её связи с классической физикой был необходим дальнейший глубокий анализ соотношения классического (макроскопического) и квантового (микроскопического - на атомном и субатомном уровнях) материальных объектов, процесса измерения характеристик микрообъекта и вообще физического содержания используемых в теории понятий. Этот анализ потребовал напряжённой работы, в которой ведущую роль сыграл Бор. Его институт стал центром такого рода исследований. Главная идея Бора заключалась в том, что заимствованные из классической физики динамические характеристики микрочастицы (например, электрона) - её координата, импульс (количество движения), энергия и др. - вовсе не присущи частице самой по себе. Смысл и определённое значение той или иной характеристики электрона, например его импульса, раскрываются во взаимосвязи с классическими объектами, для которых эти величины имеют определённый смысл и все одновременно могут иметь определённое значение (такой классический объект условно называется измерительным прибором). Эта идея имеет не только принципиальное физическое, но и философское значение. В результате была создана последовательная, чрезвычайно общая теория, внутренне непротиворечиво объясняющая все известные процессы в микромире для нерелятивистской области (т. е. пока скорости частиц малы по сравнению со скоростью света) и в предельном случае автоматически ведущая к классическим законам и понятиям, когда объект становится макроскопическим. Были также заложены основы релятивистской теории.

Бор также сформулировал два из фундаментальных принципов, определивших развитие квантовой механики: принцип соответствия и принцип дополнительности

Принцип соответствия, который Бор выдвинул еще в 1916 году, означал, что квантовая теория может быть определенным образом согласована с классической теорией, то есть «соответствовать» ей. Классическая механика блестяще подтвердилась не только во всех макрофизических процессах, но также и во всех микрофизических процессах, вплоть до движения атомов как целого, что показала кинетическая теория материи. Итак, новая атомная механика должна была привести в конце концов к тем же результатам, что и классическая. Она должна была асимптотически перейти в классическую механику для крайних случаев больших масс или больших размеров орбит. Если значение элементарного кванта действия h рассматривать как бесконечно малую величину или пренебречь им, то практически будут действовать законы классической физики.

Если, например, электрон в атоме водорода переходит на орбиты, все дальше отстоящие от ядра, и наконец полностью отрывается от него, то законы излучения квантовой механики с большим приближением принимают форму законов классической электродинамики. Принцип соответствия передает, таким образом, связь между двумя противоречащими друг другу теоретическими построениями: микрофизикой и макрофизикой, границы между которыми определяются константой Планка.

Принцип соответствия, в котором старое было смело соединено с новым, оказался очень полезным для приблизительных расчетов интенсивности спектральных линий. Он сыграл большую роль в дальнейшем развитии квантовой физики. «Теоретическая физика жила этой идеей последующие десять лет, – говорил Макс Борн. – ...Искусство угадывания правильных формул, которые отклоняются от классических, но переходят в них, в смысле принципа соответствия было значительно усовершенствовано».

Примерно десятилетие спустя, на съезде физиков, который был устроен летом 1927 года в Комо по случаю столетия со дня смерти великого итальянского физика Алессандро Вольта, Бор изложил свой второй принцип, принцип дополнительности, сделавший возможным непротиворечивое толкование явлений квантовой механики. Основные выводы появились под названием «Квантовый постулат и новое развитие атомистики» в журнале «Натурвиссеншафтен», а в первоначальном варианте на английском языке в журнале «Нейче».

Эта статья Бора, в которой впервые излагалось так называемое копенгагенское толкование квантовой механики, принадлежит к тем классическим документам физической науки, которые непосредственно послужили теоретической подготовке атомного века. Прошло более двух десятилетий, прежде чем выдвинутая Планком идея о квантах была настолько развита, что сделала возможным действительное понимание внутриатомных закономерностей.

С понятием корпускулы было связано представление о каком-то предмете, имеющем строго определенную величину движения и в данный момент находящемся в строго определенном месте, как это наблюдается в макромире, например у брошенного мяча, положение которого и скорость движения в любой момент могут быть точно измерены и определены.

Однако выяснилось, что невозможно не только практически, но и в принципе с одинаковой точностью одновременно установить место и величину движения атомной частицы. Только одно из этих двух свойств может быть определено точно. Чем точнее и определеннее измеряют одну из двух величин, тем менее точной и определенной оказывается другая. Существование элементарного кванта действия служит препятствием для установления одновременно и с одинаковой точностью величин, которые «канонически связаны», то есть положения и величины движения микрочастицы.

Это естественное состояние «обоюдной неопределенности», как говорил Бор, которое сопутствует каждому квантовомеханическому измерению, было математически отображено Гейзенбергом как «соотношение неточностей» или «соотношение неопределенностей». Это открытие принадлежат к величайшим достижениям теоретической физики.

В своей книге «Физика атомного ядра» Гейзенберг так охарактеризовал открытый им закон природы: «Никогда нельзя одновременно точно знать оба параметра, решающим образом определяющие движение такой мельчайшей частицы: ее место и ее скорость. Никогда нельзя одновременно знать, где она находится, как быстро и в каком направлении движется. Если ставят эксперимент, который точно показывает, где она находится в данный момент, то движение нарушается в такой степени, что частицу после этого даже нельзя снова найти. И наоборот, при точном измерении скорости картина места полностью смазывается».

Гейзенберговское соотношение неопределенностей есть выражение невозможности наблюдать мир атома, не разрушая его. Любая попытка дать четкую картину микрофизических состояний должна поэтому опираться или на корпускулярное, или на волновое толкование. При корпускулярном описании измерение проводится для того, чтобы получить точное значение энергии и величины движения атомной частицы, как это бывает, например, при рассеивании электронов. При экспериментах, направленных на точное определение места и времени, напротив, используется волновое объяснение, как это бывает, например, при прохождении электронов через тонкие пластинки или при наблюдении отклоненных лучей.

Бор в своем принципе дополнительности придал гейзенберговскому соотношению неопределенностей законченную теоретико-познавательную форму. Основное содержание этого принципа он сформулировал так: «Понятие частицы и волны дополняют друг друга и в то же время противоречат друг другу; они являются дополняющими картинами происходящего».

Атомные системы, для которых существенным является квант действия Планка, не могут рассматриваться так же, как частицы макромира, для которых планковская константа h ввиду ее малой величины не имеет значения. В мире атома корпускулярная и волновая картины сами по себе не являются достаточными, как в мире больших тел. Обе «картины» законны, и противоречие между ними нельзя снять. Поэтому корпускулярная и волновая картины должны дополнять одна другую, то есть быть «комплементарными». Только при учете обоих аспектов получают общую картину микрофизики, прежде всего, электронной механики, о которой, в первую очередь, идет речь в теориях Бора и Гейзенберга.

Результаты квантовой механики, обобщенно изложенные в 1927 году в гейзенберговском соотношении неопределенностей и в принципе дополнительности Бора, принудили гносеологов критически пересмотреть существовавшее ранее классическое представление о действительности. Стало ясно, что «описание физической реальности, совершенно не зависимой от средств, при помощи которых мы ее наблюдаем, строго говоря, невозможно», как писал известный французский физик и лауреат Нобелевской премии Луи де Бройль. Природу можно описывать только как нечто подчиняющееся естественнонаучным методам исследования.

Принципиально новой чертой в теоретико-познавательном анализе квантовых явлений, согласно Бору, является введение основополагающего различия между измерительным прибором и исследуемым объектом. Взаимодействие между измерительными приборами и атомными объектами образует неотделимую составную часть явлений атомного мира. Квантовомеханическое описание атомных объектов должно быть связано с классическим описанием применяемых измерительных инструментов.

Все вышесказанное, вновь подтверждая мысль В.И. Ленина о «неисчерпаемости материи вглубь», никоим образом не ставит под сомнение объективность природы, объективную реальность внешнего мира, существующего независимо от человеческого сознания. Объекты атомного мира в неменьшей степени относятся, как подчеркивал советский физик В.А. Фок, к реальному внешнему миру, и их свойства не менее реальны, чем вещи и свойства, исследуемые в классической физике. Но наивное представление о реальности, которое позволяло рассматривать частицы в атомной физике как очень маленькие песчинки, после 1927 года не могло уже оставаться в силе.

Доказанный квантовой механикой факт, что между деятельностью субъекта и противодействием объекта нет никакой четкой границы, не мешает нам, как подчеркивал Макс Борн, «разумным образом использовать эти понятия». Он пояснял сказанное наглядным примером: «Граница между жидкостью и ее паром также нечетка, потому что атомы постоянно улетучиваются и конденсируются, и, несмотря на это, мы можем говорить о жидкости и паре».

Диалектическое усложнение понимания реальности в квантовой механике оказало воздействие на решение вопроса о причинной обусловленности и о строгой предсказуемости всех природных процессов.

Вместе с другими ведущими представителями квантовой теории Нильс Бор придерживался мнения, что исследование субатомных явлений в мельчайших подробностях невозможно, потому что любая попытка изучения этих процессов сопровождается нежелательным вмешательством измерительных инструментов в ход событий. Поэтому при прогнозировании квантовомеханических процессов можно говорить только о вероятности их наступления, но не о естественно необходимой достоверности. Все положения теории атома имеют вероятностный характер. Все законы атомной физики являются вероятностными законами.

Наряду с понятием вероятности, властно выступившим на передний план в боровском теоретико-познавательном изложении вопросов квантовой механики, фундаментальное значение получило также различие между возможностью и реальностью, которое не имело гносеологической ценности для классической механики и которым поэтому пренебрегали. Понятие возможности, которое означает только «потенциально существующее», в дальнейшем развитии хода мысли Бора и Гейзенберга стало настоящим ядром философской интерпретации явлений атомной физики.

В своих теоретико-познавательных работах Бор не только выступал всегда как материалист, но был самобытным и глубоким диалектиком. Его принцип дополнительности, отражающий непримиримые противоречия микромира, является диалектическим принципом в полном смысле слова. Открытие этого принципа – главная заслуга датского физика перед теорией познания. Одно только это открытие позволяет рассматривать Бора как одного из крупнейших теоретиков среди ученых-естествоиспытателей нового времени.

Правда, теоретико-познавательные устремления Бора и его учеников долгое время не встречали понимания и превратно истолковывались. Об этом ученый говорил в 1961 году в разговоре с советскими физиками во время своего последнего приезда в Москву.

Многие философы-материалисты до недавнего времени обвиняли Бора в приверженности к субъективному идеализму, толкуя грубо упрощенно его взгляд на проблему реальности как «отрицание» реальности внешнего мира. Временные сомнения Бора в строгой универсальности закона сохранения энергии и количества движения в сфере атома были использованы в философской литературе в качестве примеров «антинаучных выводов» и «скатывания к идеализму и агностицизму».

Большая заслуга в устранении этих и подобных недоразумений принадлежит, наряду с другими, советским физикам Иоффе и Фоку.

Иоффе в своей книге воспоминаний «Встречи с физиками» убедительно показал, что Бор ни в какой мере не отрицал реальности внешнего мира; он только стремился к тому, чтобы установить своеобразие его познаваемости. Нильс Бор, как писал Иоффе, был великим мыслителем, непрерывно развивающим и углубляющим свои представления о природе не только физических, но и биологических явлений.

По словам Фока, Бор в последнее время избегал выражения «неконтролируемое взаимодействие» между объектом и измерительным прибором, считая его недостаточно точным, хотя раньше он нередко пользовался этим выражением. Фок сообщает, что в разговорах с ним Бор давал высокую оценку диалектике и отклонял позитивизм.

Бор отдал должное и ядерной физике. В 1936 г. он объяснил механизм протекания ядерных реакций. Бомбардирующая частица образовывала с ядром мишени составное ядро. Ее энергия быстро распределялась между всеми нуклонами. Через малый промежуток времени один из них или их определенная комбинация приобретали достаточную энергию для того, чтобы покинуть ядро.

 Предложив так называемую капельную модель ядра (1939), Бор вскрыл суть процесса деления урана под действием нейтронов и вместе с Джоном Уилером разработал количественную теорию этого процесса. Далее, он предсказал вероятность спонтанного деления ядер - нового вида естественной радиоактивности. Эта модель, где поведение нестабильного тяжелого атомного ядра сравнивается с делящейся каплей жидкости, дало в конце 1938 г. возможность Отто Р. Фришу и Лизе Майтнер разработать теоретическую основу для понимания деления ядра. Открытие деления накануне второй мировой войны немедленно дало пищу для домыслов о том, как с его помощью можно высвобождать колоссальную энергию. Во время визита в Принстон в начале 1939 г. Бор определил, что один из обычных изотопов урана, уран-235, является расщепляемым материалом, что оказало существенное влияние на разработку атомной бомбы.

В первые годы войны Бор продолжал работать в Копенгагене, в условиях германской оккупации Дании, над теоретическими деталями деления ядер. Над Бором нависла грозная опасность. Руководство Третьего рейха намеревалось привлечь его к реализации германского атомного проекта. Осенью 1943 г. Бору удалось перебраться в нейтральную Швецию. Оттуда он вместе с сыном Оге перелетел в Англию в пустом бомбовом отсеке британского военного самолета. Во время перелета он едва не погиб: в самолете для него нашлось место только в бомбовом отсеке. Но кислородный шлем ему оказался слишком мал, и во время перелета ученый чуть не задохнулся.

Хотя Бор считал создание атомной бомбы технически неосуществимым, работа по созданию такой бомбы уже начиналась в Соединенных Штатах, и союзникам потребовалась его помощь. В конце 1943 г. Нильс и Оге отправились в Лос-Аламос для участия в работе над Манхэттенским проектом. Старший Бор сделал ряд технических разработок при создании бомбы и считался старейшиной среди многих работавших там ученых; однако его в конце войны крайне волновали последствия применения атомной бомбы в будущем. Он встречался с президентом США Франклином Д. Рузвельтом и премьер-министром Великобритании Уинстоном Черчиллем, пытаясь убедить их быть открытыми и откровенными с Советским Союзом в отношении нового оружия, а также настаивал на установлении системы контроля над вооружениями в послевоенный период. Однако его усилия не увенчались успехом.

После войны Бор вернулся в Институт теоретической физики, который расширился под его руководством. Он помогал основать ЦЕРН (Европейский центр ядерных исследований) и играл активную роль в его научной программе в 50-е гг. Он также принял участие в основании Нордического института теоретической атомной физики (Нордита) в Копенгагене – объединенного научного центра Скандинавских государств. В эти годы Бор продолжал выступать в прессе за мирное использование ядерной энергии и предупреждал об опасности ядерного оружия. В 1950 г. он послал открытое письмо в ООН, повторив свой призыв военных лет к «открытому миру» и международному контролю над вооружениями. За свои усилия в этом направлении он получил первую премию «За мирный атом», учрежденную Фондом Форда в 1957 г.

С начала 20-х годов создатель квантовой модели атома стал одним из самых известных физиков мира. На своих коллег он производил очень глубокое и незабываемое впечатление Эйнштейн, с которым Бор познакомился в 1920 году в Берлине, писал о нем физику Эренфесту: «Это необычайно чуткий ребенок, который расхаживает по этому миру как под гипнозом»

В Копенгагене у Бора вначале было немного сотрудников. Одним из первых среди них был Х.А. Крамерс, который стал читать лекции вместо Бора, когда тот после присуждения ему Нобелевской премии (1922) был освобожден от обязанностей чтения лекций с тем, чтобы он смог полностью посвятить себя научному исследованию.

Освобождение от обязанности читать лекции, конечно, было ученому по душе еще и по другим причинам. Как говорил Франк, у Бора «не было никакого природного дарования» к чтению курса лекций в соответствии с принятыми в университете требованиями Он говорил заикаясь, тихо и невнятно и, как свидетельствуют, в самые ответственные моменты закрывал к тому же ладонью рот. Трудности доставляло ему и распределение учебного материала по часам.

Но как и Лауэ, который тоже не относился к числу хороших лекторов, Бор блистал на коллоквиумах, где часто выступления участников принимали форму научного диалога. Здесь он, по словам Франка, чувствовал себя «легко и совершенно как дома» Всегда было удовольствием, говорил Франк, наблюдать его во время дискуссий по его работам или слушать его замечания относительно выступлений других физиков Быстрота и глубина мышления Бора и его способность тотчас же схватывать сущность каждый раз заново поражали тех, кто с ним сталкивался. Некоторые сверстники Бора на заре теории атома испытали это на докладах Бора в Берлине и Гёттингене, которые он читал в стиле коллоквиумов.

Значительным явлением в истории науки был гёттингенский «Фестиваль Бора», состоявшийся летом 1922 года. Физик Фридрих Гунт писал: «Бор в течение трех недель по понедельникам, вторникам и средам во время семинаров (а чаще значительно дольше) делал доклады по квантовой теории атома и периодической системе элементов. Говорил Бор невнятно, а мы как младшие не могли сидеть на передних скамьях среди именитых гостей, так что мы напряженно вслушивались, раскрыв рты и забывая об ужине и о требованиях наших голодных желудков. Мы, конечно, кое-что читали у Зоммерфельда о строении атома и спектральных линиях, в 1920 году и Дебай прочитал нам (в довольно прохладной неотапливаемой аудитории) лекцию о квантовой теории; но то, о чем говорил Бор, звучало совершенно по-иному, и мы чувствовали, что это было что-то очень существенное. Сегодня уже не передашь, каким ореолом было окружено это мероприятие; для нас оно было таким же выдающимся событием, как и Гёттингенские фестивали Генделя, проводившиеся в те годы».

Нильс Бор обладал необычайной способностью генерировать научные идеи и оказался настолько умелым руководителем коллектива исследователей, что благодаря ему Копенгаген стал «столицей атомной физики» и Меккой для исследователей атома из всех стран. Многие молодые физики по собственной инициативе или по специальному приглашению Бора приезжали работать в Копенгаген под его непосредственным руководством. Некоторые из них находились там несколько недель или месяцев, как молодой советский физик Л.Д. Ландау, ставший впоследствии лауреатом Нобелевской премил, но многие оставались на долгие годы.

Как и у Марии Кюри, в распоряжении Нильса Бора были денежные средства одного американского фонда, которые он использовал для поощрения научной «поросли». «Его учениками становились одаренные молодые теоретики, – писал Франк, – получившие подготовку по теоретической физике и особенно по применению математики при разработке теоретических проблем в других крупных центрах этой области науки. То, чему учил их Бор на собственном примере и путем дискуссий, было искусством, в котором он для всех оставался образцом: продумывание проблемы до конца, неотступное преодоление самообмана, мужество перед, казалось бы, непреодолимыми препятствиями».

В кругу его учеников педагогические способности Бора проявились блистательным образом, насколько при этом, как говорил Франк, вообще можно говорить об «учении», так как «свойствам характера нельзя научить, но можно вскрыть их значение и тем самым пробудить их к жизни у тех, у кого они, так сказать, находятся в скрытом виде». Под его руководством происходили непринужденные, свободные от какого-либо давления с его стороны теоретические споры. Вопросы, которые интересовали учеников Бора и всех участников дискуссии, обсуждались откровенно и безбоязненно.

Многие известные физики-теоретики нашего времени с гордостью и благодарностью называют себя учениками Бора. Одним из самых значительных среди них является Гейзенберг, который впервые услышал Бора в 1922 году и два года спустя приехал по его приглашению в Копенгаген.

Нильс Бор был физиком до мозга костей. Он обладал, о чем говорил в одном из писем и Эйнштейн, гениальной интуицией в области физики, необычайной силы внутренним видением. Его почти сомнамбулическая уверенность при выявлении ключевых вопросов не имела себе равных. Вместе с тем во владении математическим аппаратом Бор во многом уступал своим коллегам. В разговоре с Паули он сделал однажды характерное признание, что его интерес к физике это интерес не математика, а, скорее, ремесленника и философа.

Действительно, математическое одеяние квантовой механики, основы которой, по сути, опираются на работы Бора, создано не им самим, а другими: Борном, Гейзенбергом, Иорданом, Паули, Дираком, Шрёдингером. Здесь сказалась известная ограниченность его огромного дарования. «Выдающиеся математические способности или даже виртуозность в той мере, в какой ими обладают многие из его учеников, ему не даны. Он мыслит наглядно и с помощью понятий, но не собственно математически». Так отозвался Карл Фридрих фон Вайцзеккер о творце современной теории атома. Он сообщал также, что среди учеников и сотрудников Бора ходила шутка о том, что учитель знает будто бы только два математических знака: «меньше, чем...» и «приблизительно равно».

Теоретико-познавательный вклад Бора в развитие атомной физики заключается в установлении двух принципов: соответствия и дополнительности. Их вызвала к жизни потребность ученого изобразить ясно, насколько это возможно, основы всех теоретико-познавательных выводов из атомной механики.

«Вначале он мог быть доволен, – писал Франк, – когда пришел к однозначному и непротиворечивому объяснению перехода от континуума к дискретному квантованию и, более того, принципиально связал индетерминизм элементарных процессов с методами, предполагающими возможность наблюдения. Иными словами, он должен был исследовать с теоретико-познавательных позиций сущность всякого наблюдения. Много лет посвятил Бор разработке этих проблем, пока, наконец, не пришел к удовлетворительным результатам. Они были изложены в написанной вместе с Розенфельдом работе, которая, насколько я могу ее оценить, представляет собой одну из самых прекрасных и самых глубоких работ по теории познания».

Достигнув 70-летнего возраста обязательной отставки в 1955 г., Бор ушел с поста профессора Копенгагенского университета, но оставался главой Института теоретической физики. В последние годы своей жизни он продолжал вносить свой вклад в развитие квантовой физики и проявлял большой интерес к новой области молекулярной биологии.

Человек высокого роста, с большим чувством юмора, Бор был известен своим дружелюбием и гостеприимством. «Доброжелательный интерес к людям, проявляемый Бором, сделал личные отношения в институте во многом напоминающими подобные отношения в семье», – вспоминал Джон Кокрофт в биографических мемуарах о Боре Эйнштейн сказал однажды: «Что удивительно привлекает в Боре как ученом-мыслителе, так это редкий сплав смелости и осторожности; мало кто обладал такой способностью интуитивно схватывать суть скрытых вещей, сочетая это с обостренным критицизмом. Он, без сомнения, является одним из величайших научных умов нашего века». Бор умер 18 ноября 1962 г. в своем доме в Копенгагене в результате сердечного приступа.

Нильс Бор — один из пионеров физики ХХ столетия, основатель копенгагенской школы квантовой механики . Помимо выдающихся научных достижений он стал буквально отцом и наставником для целого поколения европейских и американских физиков-теоретиков и пользовался глубочайшим уважением даже со стороны ученых, принципиально расходившихся с ним во взглядах.

Рассказывают, что Бор часто приглашал своих учеников и коллег в гости к себе на дачу, расположенную на одном из многочисленных прибрежных датских островков. Однажды молодой физик, переживавший этап воинствующего рационализма в своем мировоззрении, что в юности свойственно многим, заметил над входной дверью дачного домика прибитую гвоздем лошадиную подкову.

— Но вы же, профессор Бор, — возмутился он, — не верите во всю эту чушь, будто бы подкова приносит удачу?!

— Конечно, не верю, — улыбнулся в ответ Бор. — Главное, что работает, а веришь ты в это или нет — не важно.

Бор был членом более двух десятков ведущих научных обществ и являлся президентом Датской королевской академии наук с 1939 г. до конца жизни. Кроме Нобелевской премии, он получил высшие награды многих ведущих мировых научных обществ, включая медаль Макса Планка Германского физического общества (1930) и медаль Копли Лондонского королевского общества (1938). Он обладал почетными учеными степенями ведущих университетов, включая Кембридж, Манчестер, Оксфорд, Эдинбург, Сорбонну, Принстон, Макгил, Гарвард и Рокфеллеровский центр.

Литература:

1. Нильс Бор и развитие физики, пер. с англ., М., 1960 ;
2. Нильс Бор. Жизнь и творчество, пер. с дат., М., 1967;
3. Мур P., Нильс Бор - человек и ученый, пер. с англ., М., 1969.