

Проказа А.Т., Ильченко В.И.

# Ф И З И К А

## очеловеченная и одухотворенная

Теория квантовых явлений, картины мира,  
педагогический аспект физики очеловеченной  
и одухотворенной

Книга вторая

Луганск

**Світлиця**

2009

УДК 53.01 (075)

ББК 22.3 22.3я7

П-80

ISBN 978 966 534-306-6

**Проказа А.Т., Ильченко В.И.** Физика очеловеченная и одухотворенная. Книга вторая. – Луганск: «Світлиця», 2009 г. – 389 с.

Вторая книга под таким названием является логическим продолжением и завершением основных идей и принципов, реализованных авторами в первой книге, посвященной «очеловечиванию» содержания теорий механических, тепловых и электромагнитных явлений.

Физико-гуманитарные знания общекультурной ориентации применительно к теории квантовых явлений и содержание картины мира представлены во второй книге, где также рассмотрены и некоторые педагогические аспекты проблемы духовно-гуманитарного потенциала физики.

Учебное пособие будет полезно студентам и преподавателям, учащимся и учителям, а также всем, кого волнуют проблемы познания и образования, мироздания и смысла жизни.

**Рецензенты:**

**Голубничий П.И.**, доктор физико-математических наук, профессор.

**Савченко С.В.**, доктор педагогических наук, профессор.

*Рекомендовано к печати Ученым советом Луганского национального университета имени Тараса Шевченко  
(протокол № 8 от 27.03.2009).*

Ответственные за выпуск: кандидат физико-математических наук

**Гладушина Н.А.**

кандидат педагогических наук

**Карпенко И.М.**

Художник:

**Крашенинников В.Н.**

Верстка:

**Шепитько О.С.**

Дизайн обложки:

**Эсаулова Е.Ю.**

ISBN 978 966 534-306-6

© Центр анализа экономических перспектив, г. Киев

© Проказа А.Т., Ильченко В.И

# РАЗДЕЛ 1. ТЕОРИЯ КВАНТОВЫХ ЯВЛЕНИЙ

## Вместо предисловия

В 2005 году в декабре месяце исполняется 105 лет со «дня рождения» *квантовой физики*, которая сегодня органически, тесно и неразрывно связана с научно-техническим прогрессом, охватившем практически все сферы человеческой жизни.

В декабре месяце 1900 года 42-летний ординарный профессор Макс фон Планк впервые высказал «сумасбродную» идею о *порционном (дискретном) изменении энергии*, минимальная порция которой пропорциональна частоте излучения. Коэффициентом пропорциональности между энергией и частотой выступала некая *константа  $h$* , которая и стала своеобразной «меткой» квантовых явлений. Об этой фундаментальной физической константе мы будем вспоминать достаточно часто, называя ее, как принято в науке, *постоянной Планка*.

С позиции сегодняшнего дня просматриваются истоки квантовой физики, о которых тогда никто даже и не подозревал. Еще в 1809 году Пьер Прево впервые заговорил о лучеиспускании и лучепоглощении, причем обратил внимание на одной закономерности: тела, которые лучше других излучают свет, лучше его и поглощают.

Коль скоро основная цель нашей книги – «очеловечивание» знания и физика «в лицах», то приведем несколько сведений об этом швейцарском физике, философе и литераторе.

**П.Прево (1751-1839)** родился в Женеве, где и получил юридическое образование. Был учителем и занимался литературной деятельностью в Голландии и Франции; член Академии наук и профессор философии в Берлине; профессор философии и общей физики в Женевской Академии; член Лондонского и Эдинбургского королевских обществ; член Парижской Академии наук.

Пьер Прево ввел понятие подвижного, *динамического теплового равновесия* и показал, что процессы испускания и поглощения тепла протекают одновременно, непрерывно и независимо друг от друга, и переход тепла не является односторонним, а является результатом взаимного лучистого теплообмена. Он автор двухтомного философского труда «Опыт философии или изучение человеческого ума».

Только через полвека идеи Пьера Прево получили дальнейшее развитие в научных исследованиях Густава Кирхгофа (1824-1887), Йозефа Стефана (1835-1893), Людвига Больцмана (1844-1906), Джона

Стретта - лорда Рэля (1842-1919), Джеймса Джинса (1877-1946), Вильгельма Вина (1864-1928) и, наконец, **Макса Планка (1858-1947)**.

Эту «логическую цепочку» научных событий мы рассмотрим в дальнейшем повествовании, а заодно «с большим почтением» отнесемся к этой плеяде великих ученых.

Так как «нельзя объять необъятное», основное наше внимание будет сосредоточено не на истоках, а на процессе *становления и развития квантовой механики*, как теории квантовых явлений.

Непосредственным творцам этой удивительной и уникальной, в высшей степени необычной физической теории в 1900 году было:

Максу Борну – 18 лет; Нильсу Бору - 15; Эрвину Шредингеру – 13; Луи де Бройлю – 8; Хендрику Крамерсу – 6; Вольфгангу Паули – 7 месяцев; Джорджу Уленбеку – 8 дней; через 8 месяцев родится Энрико Ферми; ровно через один год «явится миру» Вернер Гейзенберг; через два года с разницей в один месяц «издадут первые звуки» еще два будущих гения Сэмюэль Гаудсмит и Поль Дирак, а еще через четыре года – Ральф Крониг.

Если учесть, что к 1926-1927 гг. квантовая механика в основном была создана, можно сделать впечатляющий вывод о возрасте ее создателей!

Поставщиками научных идей, экспериментальных данных, критиками и оппонентами, толкователями и разъяснителями многих проблем, связанных с квантовыми подходами в научных исследованиях, были: Альберт Эйнштейн (1879-1955); Вильгельм Рентген (1845-1923); Анри Беккерель (1852-1908); Арнольд Зоммерфельд (1868-1951); Анри Пуанкаре (1854-1912); Эрнест Резерфорд (1871-1937); Пауль Эренфест (1880-1933); Артур Комптон (1892-1962); Леон Розенфельд (1904-1974) и др.

Все сказанное и многое другое порождает мысли:

- На «пустом месте» ничего не возникает.
- «Пустая голова» не размышляет.
- «Пустое сердце» не способно чувствовать.
- Без цели жизнь бессмысленна.
- Без воли нет целенаправленных действий.
- Без разума нет понимания происходящего.
- Без эмоций нет ощущения красоты.
- Без познавательного интереса нет стремления к истине.

С незапамятных времен человека волнует вопрос о свободе воли и мысли. Почему в определенных обстоятельствах человек подумал и поступил именно так, а не иначе? Всегда ли можно предвидеть его собственные поступки, а тем более линию поведения?

В древнегреческих трагедиях поведением людей правил неотвратимый рок, предопределяя их судьбы. Однако человеческая

мысль искала и другие решения проблемы свободы воли. Об этом спорили богословы, включая в эти споры и вопрос об ответственности людей за свои поступки; причем ответственности, прежде всего, перед богом.

Крайнюю позицию с научной точки зрения выразил Лаплас на основе законов ньютоновской механики. Детерминизм по Лапласу выражается в том, что при сколь угодно точном задании начальных координат и скоростей материальных точек некоторой замкнутой механической системы с той же точностью можно определить координаты и скорости в любой последующий момент времени. Это открывает принципиальную возможность предвидения на основе мирового уравнения Лапласа.

Вопрос о свободе воли решался и не научным способом. В богословские и научные споры вмешивалась инквизиция с очень печальными последствиями.

Немногих, проникавших в суть вещей  
И раскрывавших всем души скрижали,  
Сжигали на кострах и распинали,  
Как вам известно, с самых ранних дней.

Так поэтически обрисовал ситуацию «проникновения в суть вещей» великой Иоганн Вольфганг фон Гете. Гонимыми были, как правило, ученые-естествоиспытатели.

Может показаться, что программа Лапласа имеет фигуральный характер, потому как практически невозможно написать и решить дифференциальные уравнения движения всех тел во Вселенной и, тем более, определить для них начальные условия, чтобы однозначно предсказать будущее. Непреодолимые трудности здесь технического характера, а не принципиальные. Однако вряд ли кто-нибудь из ученых-физиков ломал себе голову над проблемой решения мирового дифференциального уравнения Лапласа.

Механический детерминизм в его ньютоновской форме оказался несостоятельным не только в механике множества тел, где роль случайности может быть сведена к невозможности однозначно определить начальные условия для каждого из тел, но еще более остро старое определение причинности оказалось неприменимым даже для одного тела, если это тело – элементарная частица микромира.

«Простейшее» движение электрона в атоме водорода «отказалось подчиняться» динамическим законам Ньютона и механическому детерминизму!

В этом и состоит самый удивительный и самый плодотворный результат физики XX века! Результат этот «подарила миру» квантовая физика, в основе которой современная физическая теория – квантовая механика!

## «ФИЗИКА В ЛИЦАХ!»

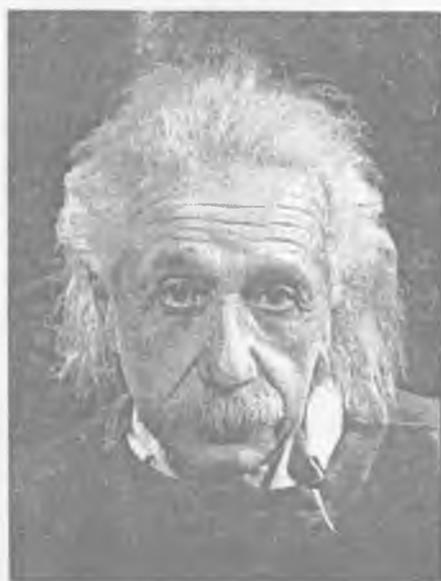
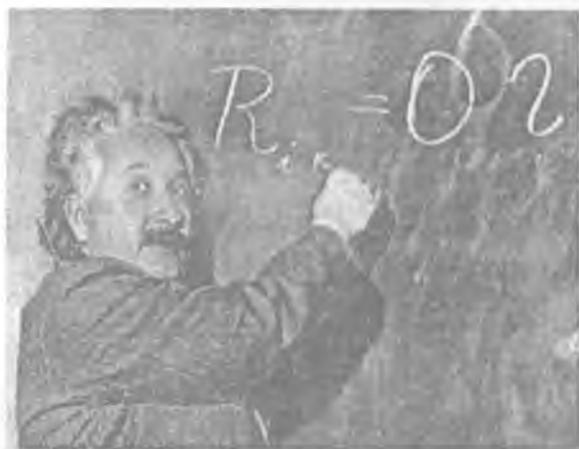
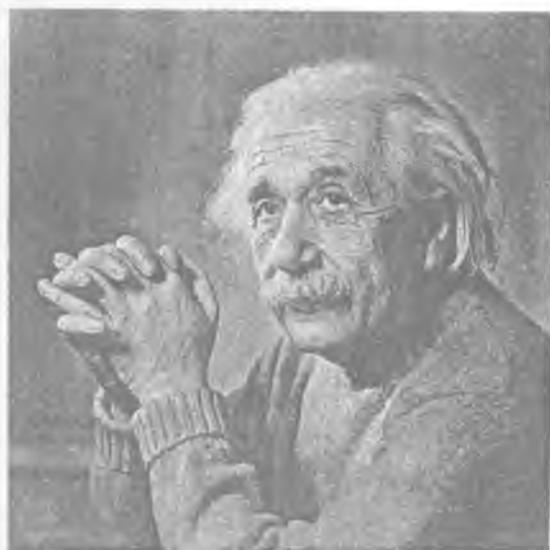
### МАКС ПЛАНК



«Это была чисто формальная гипотеза, и, по правде говоря, я не ожидал от нее бог весть чего, разве лишь одного – чтобы любой ценой получить положительный результат»

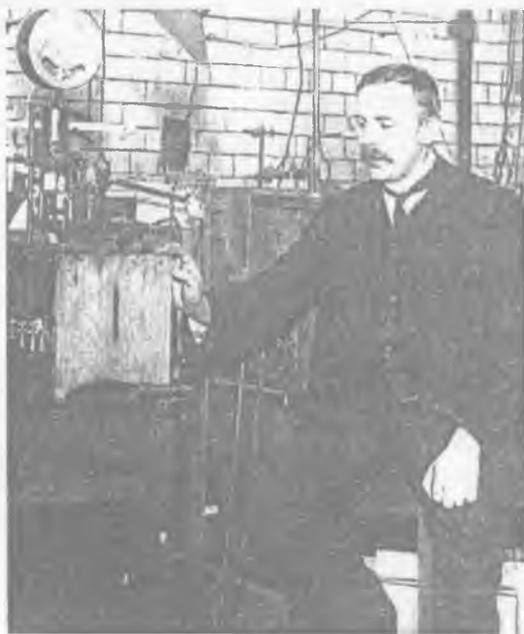
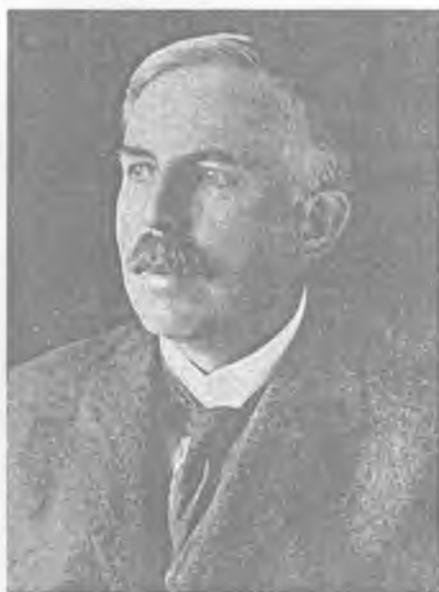
(Интересное признание Планка Роберту Вуду)

# АЛЬБЕРТ ЭЙНШТЕЙН



«Настоящее колдовское исчисление», - писал о квантовой механике А. Эйнштейн своему другу Мишелю Бессо.

## ЭРНЕСТ РЕЗЕРФОРД



«То было почти столь же неправдоподобно, как если бы вы произвели выстрел 15-дюймовым снарядом, а он вернулся бы назад и угодил в вас...»

«Теперь я знаю, как выглядит атом!»  
(Э. Резерфорд о результатах своих опытов)

## НИЛЬС БОР



«Было замечательным приключением жить в ту эпоху...»

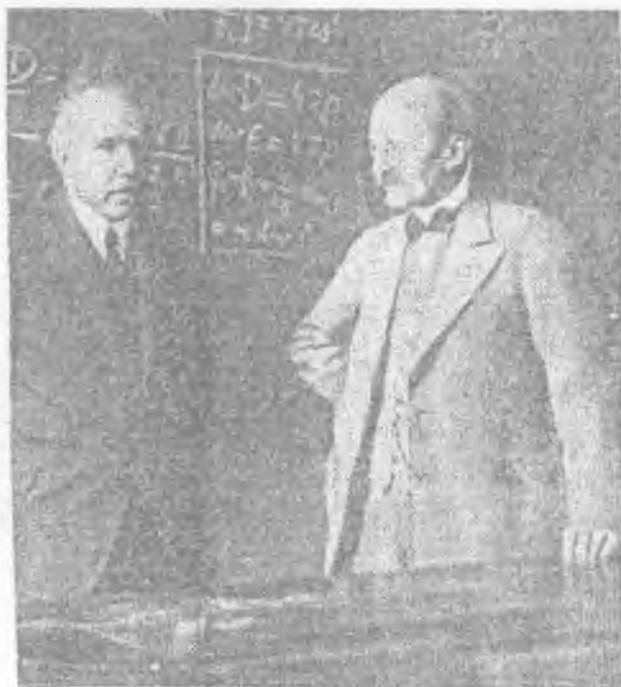
(Н. Бор за один год до своей смерти)

## АРНОЛЬД ЗОММЕРФЕЛЬД



«Я могу помочь развитию лишь техники квантов.  
Вы должны построить их философию».

(А. Зоммерфельд, обращаясь к А. Эйнштейну)



Нильс Бор и Макс Планк

«Человек, которому было суждено одарить мир  
великой созидательной идеей, не нуждается в  
похвале потомства. Его творчество даровало ему  
более значительное благо»

(А. Эйнштейн о Планке и, в равной мере, о Боре)

## ВОЛЬФГАНГ ПАУЛИ



Вольфганг Паули и Поль Дирак

«Знаете ли, то, что нам сейчас сообщил господин  
Эйнштейн, вовсе не так уж глупо...»

(19-летний юноша В. Паули после лекции  
Эйнштейна)

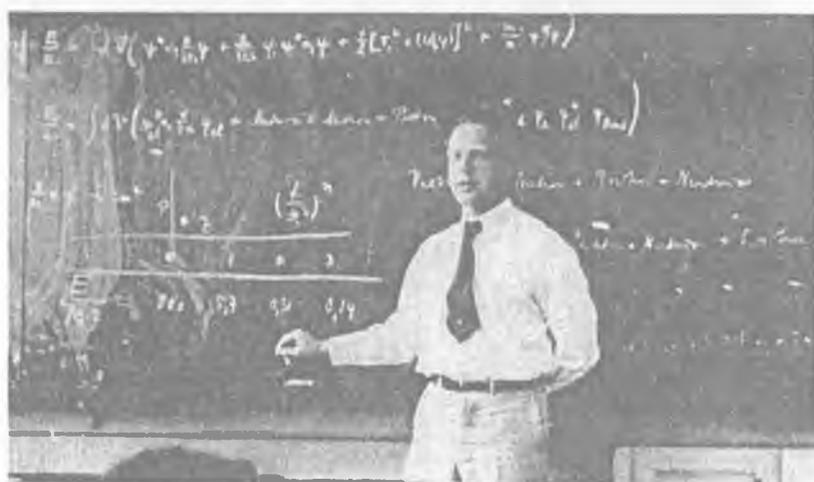


**Нильс Бор и Вольфганг Паули**

В. Паули встретил на гамбургском вокзале Нильса Бора и строго предостерег его о возникновении в атомной физике новой «ереси»

(Известно, что Паули сначала был противником гипотезы о спине электрона)

## ВЕРНЕР ГЕЙЗЕНБЕРГ



«Каким талантливым невеждой надо было быть, чтобы не знать подходящего раздела математики и самому создать пригодный математический аппарат, раз уж он тебе понадобился!»

(Макс Борн говорил с восхищением о В. Гейзенберге)

## ЛУИ ДЕ БРОЙЛЬ



«Идеи диссертанта, конечно, вздорны. но развиты с таким изяществом и блеском, что я принял диссертацию к защите»

(Поль Ланжевен о диссертации Луи де Бройле)

## ЭРВИН ШРЕДИНГЕР



«Если эти проклятые квантовые скачки действительно сохраняются в физике, я простить себе не могу, что вообще когда - то связался с квантовой теорией!»

(Э. Шрёдингер о «копенгагенской интерпретации» квантовой механики)

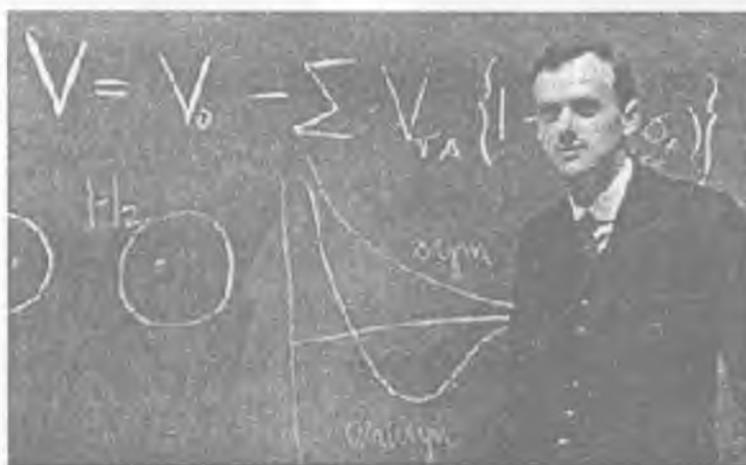
## АРТУР КОМПТОН



Комптовское увеличение длины волны излучения эвристически условно можно выразить так: «Вы стоите перед зеркалом в зеленом свитере, а видите себя в зеркале в красном свитере». Это и есть эффект Комптона.

(Реально – «покраснение» рентгеновских лучей!)

## ПОЛЬ ДИРАК



«Я попытался восстановить в памяти, что на меня тогда влияло, какую роль сыграли в моей жизни учителя и то образование, которое... вылилось в мой стиль работы...»

(Поль Дирак «Воспоминания о необычайной эпохе»)

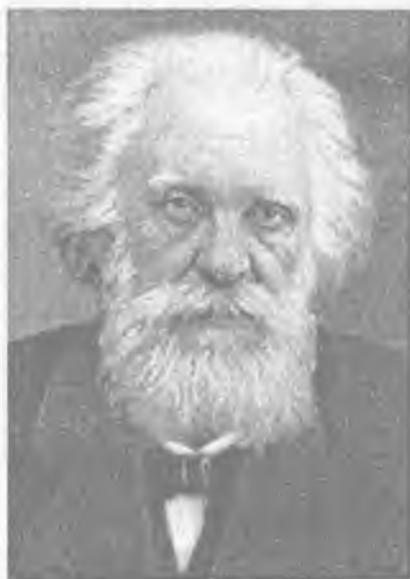
## ПЕТР ЛЕБЕДЕВ



«Каждый атом... представляет собою полную  
солнечную систему...»

(Дневниковая запись 22.01.1887г. студента Петра  
Лебедева, будущего знаменитого  
экспериментатора, сумевшего измерить давление  
света в 1900 году!)

## НИКОЛАЙ АЛЕКСЕЕВИЧ УМОВ



«Великая цель подчинения природы не может быть достигнута без понимания вселенной»

(Николай Алексеевич Умов - первый русский физик-теоретик, 1846-1915)

## ВИЛЬГЕЛЬМ РЕНТГЕН



«Нет сомнения в том, сколь большого успеха достигнет физическая наука, когда эта неведомая раньше форма энергии будет достаточно исследована»

(Из приветствия на презентации 1-го нобелевского лауреата В. Рентгена)

## А. БЕККЕРЕЛЬ



«Каждое большое открытие складывается из важных... мелочей,  
и лишь... счастливая вспышка случая может на мгновение  
осветить контуры целого. Но только истинный  
естествоиспытатель в этот краткий миг успевает правильно  
разгадать замысел природы»  
(Об открытии А. Беккереля цитата из книги «Под знаком  
кванта» Л. Пономарева)

## ФРЕДЕРИК ЖОЛИО-КЮРИ



«Предпринятые мной и описанные... опыты дали результаты, согласующиеся с предсказаниями теории Дирака относительно аннигиляции позитронов».

(Из статьи Ф. Жолио-Кюри «Экспериментальные доказательства аннигиляции положительных электронов»)

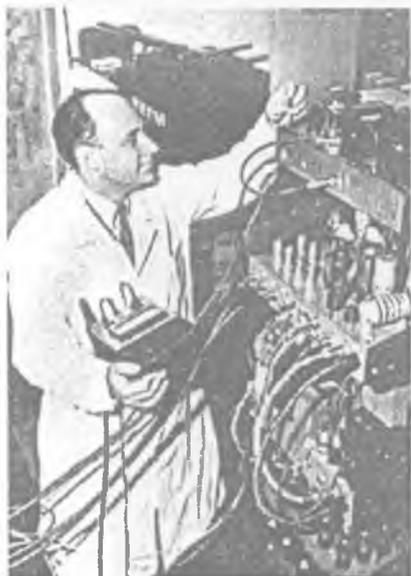
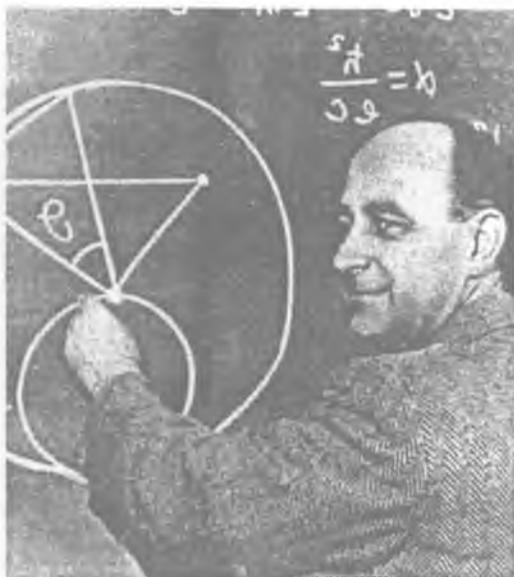
## ИРЕН ЖОЛИО-КЮРИ



«Таким образом... удалось впервые при помощи внешнего воздействия вызвать у некоторых атомных ядер радиоактивность...»

(Из статьи Фредерика и Ирен Жолио-Кюри «Новый вид радиоактивности»)

## ЭНРИКО ФЕРМИ



«Те кому посчастливилось учиться у Ферми и работать под его руководством, будут всегда помнить о нем, как о непогрешимом «папе» физиков, уникаме XX века»

(Бруно Понтекорво, известный ученый, работавший некоторое время в группе Ферми)

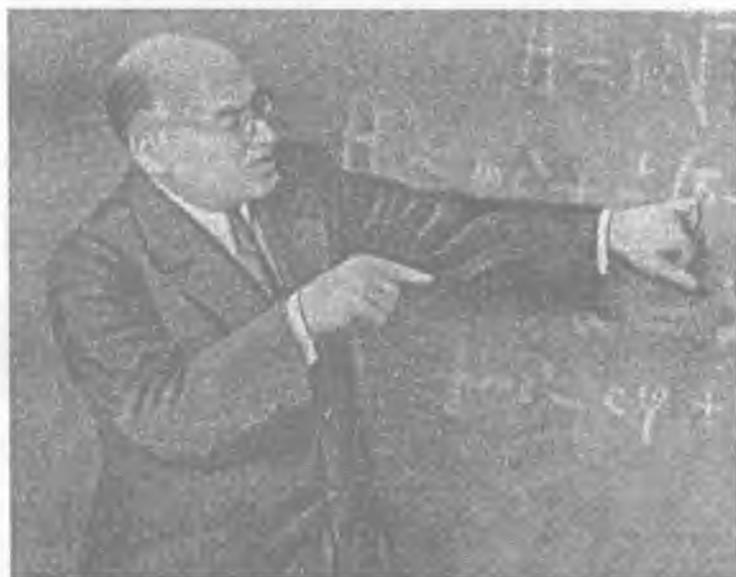
## ВЛАДИМИР АЛЕКСАНДРОВИЧ ФОК



... Метод Хартри-Фока, метод вторичного квантования в пространстве Фока, метод функционалов Фока, представления Фока, условия симметрии Фока, преобразования Фока, формулы Фока...

(Эта научная терминология – яркое свидетельство огромных заслуг Владимира Александровича Фока!)

## Я.И. ФРЕНКЕЛЬ



«Френкель был моим сотрудником в Геттингене, и я высоко ценил его. Он был буквально заполнен идеями и вместе с тем превосходно владел всей техникой теоретической физики... Его ранняя смерть причинила мне большое огорчение»

(Макс Борн)

## Л.Д. ЛАНДАУ



«Все физики – теоретики приходят в науку от математики, и я не стал исключением. В 12 лет умел дифференцировать, в 13 - интегрировать» - вспоминал Лев Давыдович Ландау, лауреат Нобелевской премии за пионерские исследования по квантовой теории конденсированных сред



Физический семинар в Копенгагене. Сидят слева направо: Бор, Гейзенберг, Паули, Гамов, Ландау.

Это великие открыватели законов природы и творцы науки о ней –  
творцы квантовой **физики!**

## О специфике квантовых явлений

Никто и никогда не сомневался, что Луна и планеты солнечной системы движутся по своим орбитам – траекториям вне зависимости от того, наблюдаем ли мы за их движением или нет. Это означает, что наши наблюдения абсолютно не влияют на характер движения небесных тел.

Механика Ньютона, возникшая на основе законов Кеплера и экспериментальных законов падения Галилея, даже не ставила вопрос о влиянии наблюдений на движения планет, спутников, снарядов, ракет и т.п. А ведь эта механика была основой всего точного естествознания!

В связи с тем, что при наблюдении микрообъектов положение резко изменилось, обсудим подробно процесс физического измерения. Дело в том, что не осознав смысла того, что совершается при измерении величины, невозможно определить эту величину как физическую. Фиксируя положение какого-либо небесного светила или фотографируя скоростным методом летящую пулю, мы никак не изменяем их дальнейшее состояние. Закономерно возникла бессознательная уверенность в том, что объект наблюдения не может подвергаться какому-либо воздействию со стороны измерительного прибора.

Однако ситуация оказывается неоднозначной, если объектом наблюдения становится микрообъект. Пока атом оставался умозрительным, никто и не задумывался над тем, что сам измерительный прибор может вносить существенные изменения в состоянии атома. Следовательно, надо разобраться, в чем же состоит взаимоотношение между физическим законом и физическим измерением? Так как действие физического закона не зависит от воли исследователя, то напрашивается такой ответ на поставленный вопрос: одно и то же измерение, произведенное в одинаковых условиях над одним и тем же объектом, всегда должно давать одинаковый результат. Но всегда ли это так?

подавляющую часть своих знаний о мире человек приобретает с помощью зрения. Никто и никогда не сомневался, что, наблюдая звезду на небосводе, мы никак на нее не воздействуем. Эту специфическую особенность мы автоматически переносим и на другие объекты наблюдений. Таким образом, укоренилось убеждение, что явление существует независимо от наблюдения.

Вместе с тем тот же ежедневный опыт убеждает нас в том, что чем меньше объект наблюдения, тем легче нарушить его состояние. А если объекты наблюдений атомы, электроны? Это объекты квантовой физики – *квантоны!* Определить их свойства усилием воли и умозрительными рассуждениями не представляется возможным. Необходимы измерения с помощью приборов. Физический прибор и квантон (объект наблюдения) должны подчиняться *квантовым законам*. А главная особенность квантовых явлений – их *дискретность!*

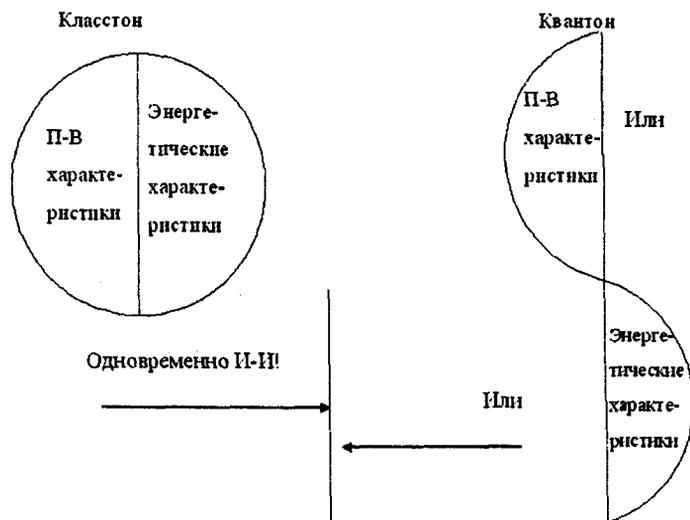
В мире квантовых явлений (в микромире) взаимодействия происходят так, что «чуть-чуть» не будет: или – все, или – ничего! Мы не можем как угодно слабо воздействовать на квантон, т.е. воздействовать то мы можем, но он это «не почувствует»! Если же воздействие мы увеличим, то квантон это «почувствует», но при этом он скачком перейдет в новое квантовое состояние или перестанет существовать (просто погибнет).

В мире, где действуют квантовые законы, одно произведенное измерение существенным образом изменяет «дальнейший ход событий»! Именно это и есть то принципиально новое, что внесла квантовая теория в понятие измерения. Именно в этом и состоит специфика квантовых физических явлений!

## Подробнее о взаимодействии макроприборов и микрообъектов

К изучению удивительных особенностей квантонов мы подходим с имеющимися классическими представлениями и понятиями о классических макрообъектах (кластонах). Перед нашим «умственным взором» все время «маячит» наглядный образ кластона. Относительно квантона мы применяем тот же термин – частица, а в этой «частице» только «половина» по очереди проявляемой классической частицы (либо пространственно-временная, либо энергетическая половины).

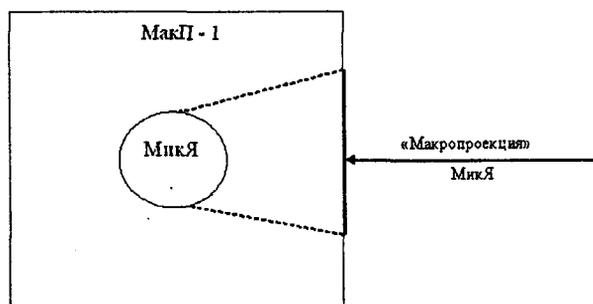
Пространственно-временные и энергетические характеристики квантонов одновременно не имеют точного физического смысла!



Относительно квантона «половины» исключают друг друга одновременно, но «поочередно» дополняют друг друга (или-или!). Эти «половины» не одушевленные существа, они сами себя «исключать» не могут. Именно в этом случае в теорию познания мы вводим *субъективный фактор* - объективную деятельность познающего субъекта.

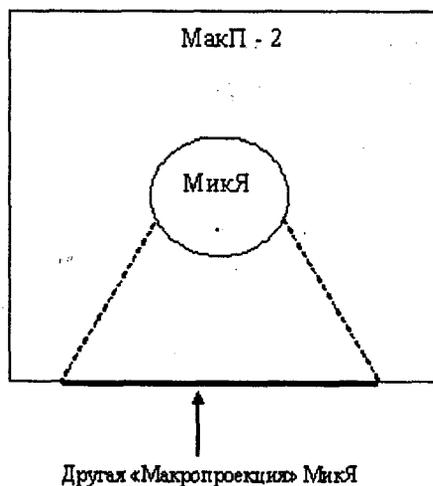
Вот научный факт, который необходимо принять: Одни приборы дают сведения пространственно-временного характера, другие - энергетического. Применение одних приборов исключает одновременное применение других! Субъективный характер проявляется в выборе приборов и влияет на то, что именно мы наблюдаем.

Человек строит себе «тонкие» приборы для изучения квантонов и получения знаний о них. Прибор, как «посредник» между познающим субъектом и квантоном, является классическим макрообъектом. Объективная возможность выразить наше знание микромира в макропонятиях заключается в объективной возможности «перевести» явление микромира на показания макроприбора, т.е. получить «проекцию» микромира на макромир. Эта возможность макронаблюдений микромира имеет место потому, что наличествует взаимодействие квантона с макроприбором. Это взаимодействие приводит к изменению состояния макроприбора, который «рассказывает» о микрообъекте на макроязыке, поскольку другого языка макроприбор просто «не знает»! Микроявление (МикЯ) происходит в макроприборе (МакП), который дает «макропроекцию» МикЯ. Эту ситуацию отобразим средствами абстрактной наглядности.



Штриховые линии означают, что МакП - 1 не дает полного и подробного описания и анализа МикЯ, всех его сторон, а регистрирует только, например, пространственно-временные (П-В) характеристики.

Другой МакП - 2 дает другую «макропроекцию» МикЯ, например, энергетические характеристики. Штриховые линии имеют тот же символический смысл.



По наблюдаемым макропроекциям начинаем воссоздавать МикЯ. В распоряжении наблюдателя – исследователя имеются только макроматериал: понятие частицы, волны, координаты, скорости, импульса, энергии и т.п. Поэтому не представляется возможным воссоздать «истинную картину» МикЯ, а можно только с оговорками построить *приемлемую модель* «кентаврообразной» комбинацией классических понятий!

Имеет место принципиальное различие роли приборов классической и квантовой физики. При исследовании класстонов прибор «вскрывает» их состояние, а субъект – «посторонний» наблюдатель! При исследовании квантонов прибор участвует в создании определенного состояния, «приготавливает» его, а субъект – «активный участник» происходящего!

Для лучшего осознания ситуации воспользуемся аналогией. Известно, что форма траектории класстона относительно: на фотопленке это может быть и прямая, и парабола (обе реальны), но в данной системе отсчета одна форма исключает другую. Конкретная траектория существует «не сама по себе», а относительно определенной системы отсчета.

А что значит конкретная (данная) частица – квантон? Как она «дана»? каким МакП установлено ее наличие? Имеем:

Траектория класстона «не сама по себе», а относительно конкретных систем отсчета (киноаппаратов)	Координаты и импульс квантона «не сами по себе», а относительно приборов определенного класса (МакП – 1 и МакП – 2)
--	---

## Определенность принципа неопределенности соединяет «беду» противоположности с «благом» дополнительности!

Самое удивительное в квантовой физике – это то, что многое в познании микромира достигается не столько введением новых понятий (хотя есть и такие!), сколько разумным ограничением старых классических на основе *принципа соответствия*.

В классической картине мира тоже есть явления, наблюдая за которыми видят не то, что происходит «на самом деле». Это означает, что наблюдаемая картина не совпадает с действительной. «Лучше один раз увидеть, чем сто раз услышать»... Мы к этому привыкли и считаем, что видимое нами есть именно на самом деле происходящее. Но ведь это не всегда так! Чтобы восстановить истинную картину, надо учитывать *физическую относительность* и к системам отсчета, и к средствам наблюдения, и к способам наблюдения! А это означает, что «видеть» необходимо не только с помощью органов зрения, но и с помощью разума!

В познавательной деятельности (жизненной, учебной, научной) мы всегда имеем два вектора направления движения мысли. Первый – это путь «буквального» понимания уже имеющихся знаний, а потому и путь их применения для решения необходимых практических задач и накопления практического опыта. Другой – это использование уже осознанных и усвоенных знаний в качестве образца для построения новых методов, новых теорий и новых научных обобщений. Оба эти направления должны соотноситься между собой в учебном познании не на основе взаимного исключения, а на основе *принципа дополнительности*, его педагогической интерпретации.

В квантовой физике очень много непонятого «с первого предъявления». Если непонятое отталкивает, то имеет место стремление жить в ситуации простоты понимания, т.е. в упрощенной, а потому часто искаженной, ситуации. Если же непонятое является *притягательной силой*, то имеет место стремление к необычному видению мира на основе *созидательных сомнений*. В этом случае будет реализован *желаемый уход от примитивизма* здравого смысла и устремление к вершинам манящего, хотя пока и непонятого или не совсем понятного нового!

Новая парадигма образования должна исповедовать *осмысленное незнание*, как основу нетупикового, недогматического обучения!

## От законов излучения к идее квантования энергии

В 1859 году Густав Кирхгоф предложил первый в истории физики закон, который относился к лучеиспусканию и лучепоглощению. Он ввел в науку универсальную функцию, которая Людвигом Больцманом была названа функцией Кирхгофа.

**Густав Кирхгоф (1824-1887)** – немецкий физик; он был исключительно разносторонней личностью; профессор нескольких немецких университетов; член Берлинской и Российской академии наук. Его научные работы посвящены электричеству, механике, оптике, математической физике, теории упругости, гидродинамики. В частности Кирхгоф развил строгую теорию дифракции, усовершенствовал теорию магнетизма Пуассона, исследовал упругость твердых тел, колебания пластин, форму свободной струи жидкости, движение тела в жидкой среде.

Мы упомянули этого ученого в связи с тем, что он установил один из основных законов теплового излучения, согласно которому отношение испускательной способности тела к поглощательной не зависит от природы излучающего тела.

Через 20 лет после открытия закона Кирхгофа, т.е. 1879 году, появилась научная статья Йозефа Стефана «О зависимости теплового излучения от температуры». Опытным методом Стефан установил закон, согласно которому полное лучеиспускание АЧТ пропорционально четвертой степени абсолютной температуры.

Через пять лет этот закон строго доказал Людвиг Больцман, так что в науке теперь он называется закон Стефана-Больцмана.

**Йозеф Стефан (1835-1893)** – австрийский физик; окончил Венский университет, был его профессором, директором института экспериментальной физики университета, а затем ректором этого университета. Научные исследования проводил в области оптики, акустики, электромагнетизма, кинетической теории газов, гидродинамики, теории теплового излучения. Стефан разработал теорию диффузии газов, изучал их теплопроводность, нашел значения коэффициентов теплопроводности многих газов. Профессор Стефан воспитал многих австрийских физиков.

В конце XIX века началось интенсивное освещение городов в Западной Европе. В Берлине была создана специальная палата мер, весов и света, где целый ряд великолепных оптиков занимался изучением источников света и их излучением.

Они экспериментально устанавливали *вид функции Кирхгофа* в зависимости от частоты излучения и абсолютной температуры излучающих тел. Экспериментально было обнаружено: 1) Все кривые имеют максимум и убывание в области высоких частот; 2) Максимумы кривых смещаются в зависимости от температуры.

Дальнейшие исследования проблемы теплового излучения связаны с именем Вильгельма Вина.

**Вильгельм Вин (1864-1928)** был воспитанником Берлинского университета и в течение трех лет сотрудничал с Германом Гельмгольцем в качестве его ассистента. Это было в физико-техническом институте Берлинского университета. Затем Вин работал в должности профессора Вюрцбургского и Мюнхенского университетов.

Научные работы Вильгельма Вина относятся к теории теплового излучения, оптике, термодинамике, гидродинамике, излучению электрических разрядов в газах. В 1893 году распространил понятия температуры и энтропии на тепловое излучение и показал, что максимум излучения в спектре АЧТ с увеличением температуры смещается в сторону коротких волн (закон смещения Вина). В 1896 году, исходя из классических представлений, вывел закон распределения энергии в спектре АЧТ (закон излучения Вина). Однако, как вскоре выяснилось, формула закона излучения Вина оказалась правильной лишь в случае коротких волн.

Над проблемой АЧТ работал и *Джон Уильям Стретт* (лорд Рэлей). Рэлей понял, что термодинамика не в состоянии решить проблемы теплового излучения, и надо привлекать к этому статистическую физику. Совместно с *Джеймсом Джинсом* был получен закон, согласно которому функция Кирхгофа только частично совпала с экспериментальной кривой.

Возникла так называемая «ультрафиолетовая катастрофа». Необходимо «вмешательство» в разрешение этого противоречия *Макса Планка!*

## Макс Планк

**Макс фон Планк (1858-1947)** родился в семье профессора права Мюнхенского университета. В детстве мальчик обнаружил незаурядные музыкальные способности. Он великолепно играл на фортепиано и очень любил музыку. В классической гимназии очень хороший учитель математики впервые пробудил интерес Макса к точным наукам и естествознанию. Всесторонне одаренный мальчик изучал классическую философию, успешно занимался музыкальной композицией, но потом отдал *предпочтение физике* (?!).

Макс Планк три года изучал математику и физику в Мюнхенском университете, а затем еще год в Берлинском. Один из профессоров физик-экспериментатор Филипп Жолли советовал Максу избрать другую профессию, так как, по его словам, в физике не осталось ничего принципиально нового, что можно было бы открыть. После открытия *закона сохранения энергии* уже не осталось ничего, заслуживающего внимание, и физикой заниматься не имеет смысла (!?)

В Берлине Планк приобрел более широкий взгляд на физику благодаря изучению работ выдающихся физиков Германа фон Гельмгольца и Густава Кирхгофа, а также Рудольфа Клаузиуса. Научные интересы Планка надолго сосредоточились на термодинамике.

Ученую степень доктора Планк получил в 1879 году, в 1885 году стал адъютант-профессором Кильского университета, а в 1888 году – он адъютант-профессор Берлинского университета и директор Института теоретической физики (такая должность была учреждена специально для него).

С 1896 года Планк заинтересовался измерениями, которые производились в Государственном физико-техническом институте, а также проблемами теплового излучения тел.

«Послушаем» самого Макса Планка: «Для того, чтобы применить соотношение  $S = k \ln P$ , где  $P$  – термодинамическая вероятность, к рассматриваемому случаю, я построил образ, состоящий из очень большого числа “ $n$ ” одинаковых осцилляторов и стремился подсчитать вероятность того, что этот образ обладает заданной энергией. Величина может быть найдена только с помощью счета, т.е. необходимо рассматривать энергию, как сумму дискретных, равных друг другу элементов, число которых может быть обозначено буквой “ $n$ ” и может быть очень большим числом».

Эта цитата «проливает свет» на то, как родилась у Планка гениальная и, вместе с тем, «сумасбродная» идея о *дискретном* (порционном) изменении энергии! Справедливости ради необходимо отметить следующее. Людвиг Больцман значительно раньше в мемуаре, посвященном статистике, провел расчеты энергии молекулы в предположении, что она имеет дискретные значения, кратные одной и той же величине. Больцман рассматривал это, как некую математическую операцию. Затем переходил к пределу, полагая эту порцию энергии весьма малой, а число порций очень большим, т.е. переходил к непрерывному изменению энергии. Эту методику использовал и Планк, применив ее к излучению. Результаты своих теоретических исследований Планк доложил на заседании Немецкого физического общества. День *14 декабря 1900 года* стал знаменательной *датой рождения квантовой теории!*

Макс Планк был классиком по образованию, по мировоззрению и по образу мыслей (стилю мышления). Свое открытие он назвал «актом отчаяния». В одном из своих писем он писал: «Я знал, какова должна быть формула, но не мог найти ее обоснования. Для меня начались несколько самых мучительных в жизни недель, в течение которых я пытался найти объяснение».

Заметим, что очень большую роль для Планка сыграла в этот момент поддержка его друга Людвиг Больцмана, к которому Планк обратился за советом. Совет Больцмана был конкретен и лаконичен: «Вы никогда не решите проблему излучения, если не введете в свою теорию элемента дискретности».

Реализация Планком идеи дискретности применительно к излучению была в полном смысле блестящей! Планк был великолепным математиком и очень эрудированным физиком. Он не был революционером в науке, но он им стал «вынужденно».

Ни сам Планк, ни другие физики не осознавали глубокого значения понятия «квант» (порция энергии). Для Планка квант был всего лишь средством, позволившим вывести формулу, дающую удовлетворительное согласие с экспериментальной кривой излучения абсолютно черного тела. Планк неоднократно пытался достичь согласия в рамках классической физики, но все безуспешно.

Однако он с удовлетворением отметил первые успехи квантовой теории, последовавшие незамедлительно после его открытия.

Оценивая значение открытия Планка, Альберт Эйнштейн писал: «Именно закон излучения Планка дал первое точное определение абсолютных величин атомов, независимо от других предложений. Более того, он убедительно показал, что, кроме, атомистической структуры материи, существует своего рода атомистическая структура энергии, управляемая универсальной постоянной, введенной Планком. Это открытие стало основой для всех исследований в физике XX в. и с того времени почти полностью обусловило ее развитие. Без этого открытия было бы невозможно установить настоящую теорию молекул и атомов и энергетических процессов, управляющих их превращениями. Более того, оно разрушило остов классической механики и электродинамики и поставило перед наукой задачу: найти новую познавательную основу для всей физики».

В 1919 году Планк был удостоен Нобелевской премии по физике «в знак признания его заслуг в деле развития физики благодаря открытию квантов энергии».

Член Шведской королевской академии наук на церемонии вручения премии произнес такие слова: «Теория излучения Планка – самая яркая из путеводных звезд современного физического исследования, и пройдет,

насколько можно судить, еще немало времени, прежде чем иссякнут сокровища, которые были добыты его гением».

Как человек религиозных убеждений, как человек предельно справедливый и порядочный, Планк публично выступал в защиту еврейских ученых, изгнанных со своих должностей и вынужденных эмигрировать из Германии во времена Гитлера. Когда Планк как президент Общества фундаментальных наук кайзера Вильгельма наносил официальный визит Гитлеру, он попытался убедить Гитлера не преследовать ученых еврейской национальности. Однако Гитлер разразился гневом против евреев вообще, после чего Планк стал более сдержанным в своих высказываниях.

Макса Планка преследовали и семейные трагедии. Его первая жена умерла в 1909 году, старший сын был летчиком и погиб во время Первой мировой войны. Второй сын был казнен в 1944 году за участие в неудавшемся заговоре против Гитлера. Дом Планка и его личная библиотека сгорели после очередного воздушного налета на Берлин. Сам он чудом остался жив и продолжил активную жизнь великого ученого.

Планк глубоко интересовался философскими проблемами естествознания, этикой и свободой воли. Исполнявший обязанности пастора (не имевший священного сана) в Берлине, Планк был глубоко убежден в том, что *наука дополняет религию*, и вместе они учат правдивости и уважительности. Джордж Паджет Томсон, сын Дж. Дж. Томсона писал в своей книге: «Он был типичным немцем в лучшем смысле этого слова. Честный, педантичный, с чувством собственного достоинства, по-видимому, довольно твердый, но в благоприятных условиях способный отбросить всю чопорность и превратиться в обаятельного человека».

Великолепный пианист Планк часто исполнял музыкальные произведения со своим другом Эйнштейном, пока тот не покинул Германию. Увлеченный альпинист почти каждый свой отпуск проводил в Альпах.

Макс фон Планк состоял членом Германской и Австрийской академий наук, а также научных обществ и академий Англии, Дании, Ирландии, Финляндии, Греции, Нидерландов, Венгрии, Италии, Швеции, Соединенных Штатов Америки и Советского Союза. Общество фундаментальных наук кайзера Вильгельма было переименовано в Общество Макса Планка, была учреждена высшая научная награда Германии – медаль Планка.

Полгода не дожидаясь этого гениальный физик до своего девяностолетия. На его могильной плите выбиты только имя и фамилия, да еще численное значение постоянной Планка!

$$h = 6,6260753 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{С}$$

## И снова Альберт Эйнштейн

1905 год. 26-летний Эйнштейн выполнил четыре работы, явившиеся новым началом в науке. В истории физики был аналогичный случай в научном творчестве Исаака Ньютона. Когда в Кембридже вспыхнула эпидемия чумы, 24-летний Ньютон на два года уехал в родную деревню и к своему 26-летию (вот совпадение!) создал новую механику, оптику, дифференциальное и интегральное исчисление. Другого такого всплеска творческой гениальности до работ Эйнштейна не было на всем протяжении развития физики!

Одна из важнейших работ Эйнштейна называлась так: «Об одной эвристической точке зрения, касающейся возникновения и превращения света». Во введении Эйнштейн писал: «Волновая теория света, оперирующая непрерывными в пространстве функциями, может оказаться приводящей к противоречию с опытом, когда ее будут применять к явлениям возникновения и превращения света. Я думаю, что опыты, касающиеся излучения черного тела, фотолюминесценции, возникновения катодных лучей при освещении ультрафиолетовыми лучами и другие группы явлений, связанные с возникновением и превращением света, лучше могут объясняться предположением, что энергия света распространяется по пространству дискретно. Согласно этому предположению, энергия пучка света, вышедшего из некоторой точки, не распределяется непрерывно во все возрастающем объеме, а складывается из конечного числа локализованных в пространстве неделимых квантов энергии, поглощаемых или возникающих только нацело». Из этого следует, что кванты света не дробятся! (Как и кванты излучения АЧТ Планка!)

Известно, что электромагнитная теория не смогла объяснить явление вырывания электронов из вещества под действием света, названное явлением фотоэффекта.

Попытаемся объяснить это явление с позиции волновой электромагнитной теории света. Будем считать, что мощность падающего на вещество света  $P$ , а число электронов в поверхностном слое  $N$ . Тогда на один электрон приходится мощность

$$P_0 = \frac{P}{N}, \text{ где } N = nV, V = dS$$

$n$  – концентрация электронов вещества,

$V$  – объем поверхностного слоя, на электроны которого свет действует,

$d$  – толщина слоя,

$S$  – площадь поверхности слоя.

Фотоэффект имеет место, если энергия света не меньше работы выхода электрона из вещества, т.е.  $W \geq A$ . Будем считать, что  $W = A$

$$A = P_0 \Delta t \Rightarrow \Delta t = \frac{A}{P_0}$$

$$P_0 = \frac{P}{ndS} \quad \Delta t = \frac{AndS}{P}$$

Для расчета промежутка времени, по истечению которого произойдет фотоэффект, примем конкретные правдоподобные данные, а именно:

$$S = 1 \text{ м}^2; \quad d = 10^{-10} \text{ м (соизмерено с размерами атома); } P = 10^{-3} \text{ Вт};$$

$$n = 10^{28} \frac{1}{\text{м}^3}; \quad A = 6,4 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$\Delta t = 10^4 \text{ с, приблизительно 3 часа!}$$

Опыты же свидетельствуют, что если фотоэффект есть, то он наступает практически «мгновенно»! Говорят, что явление фотоэффекта «безинерционное».

Имеем *противоречие*, о котором писал Эйнштейн! Отсюда вытекает и научная проблема, которую тот же Эйнштейн и решил. Он создал теорию фотоэффекта, предположив что свет не только излучается, но и поглощается квантами, энергия которых согласно Планку  $E = h\nu$ , где  $\nu$  – частота света  $h$  – постоянная Планка. Все оказалось гениально просто: если энергия кванта света больше работы выхода электрона из вещества, то фотоэффект возникает, что и подтвердили опыты!

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта первоначально имело вид:

$$P\varepsilon = \frac{R}{N_A} \beta \nu - P$$

где  $\Pi$  – поверхностный потенциал электрона, выбиваемого светом,  $\varepsilon$  - его заряд,  $\beta$  - константа из эмпирической формулы.,  $P$  – работа выхода электрона из металла.

Именно в таком виде впервые в науке появилось уравнение фотоэффекта в параграфе «О возбуждении катодных лучей при освещении твердых тел» вышеупомянутой статьи Эйнштейна. Нобелевская премия 1921 года была присуждена Эйнштейну именно за создание квантовой теории фотоэффекта!

Сегодня уравнение Эйнштейна для фотоэффекта записывают в таком виде:

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2}$$

$h\nu$  – энергия кванта света (фотона)

$h$  – постоянная Планка

$\nu$  – частота света

$m$  – масса фотоэлектрона

$v$  – его скорость

$\frac{mv^2}{2}$  – кинетическая энергия фотоэлектрона.

Сравним с первичным уравнением Эйнштейна и увидим, что

$$P\varepsilon = E_K = \frac{mv^2}{2},$$

где  $P$  – равносильно  $A$ ,  $\frac{R\beta}{N_A} = h$  – постоянная Планка, выраженная

через другие константы,  $P\varepsilon = Ue$ .

В 1907 году Альберт Эйнштейн делает первый существенный шаг в применении квантовой теории к веществу. До этого квантовая теория применялась только к излучению. Эйнштейн предпринял попытку на основе квантовых идей решить проблему теплоемкости.

Интерес к проблеме теплоемкости объяснялся тем, что опытные данные по теплоемкости находились в резком противоречии с имеющейся теорией. В 122 томе “Annalen der Physik” Эйнштейн опубликовал свою статью «Теория излучения Планка и теория теплоемкости». Формулы полученные Эйнштейном давали квантовые выражения для энергии моля вещества и для теплоемкости.

Это было первое квантовое исследование в этой области. Формула Эйнштейна для теплоемкости лишь приблизительно описывала изменение теплоемкости с температурой, так как Эйнштейн полагал, что все атомы в твердом теле колеблются с одинаковой постоянной частотой. Между тем, в твердом теле есть *наборы частот* колебаний, а поэтому теория теплоемкости Эйнштейна нуждалась в существенном усовершенствовании, что и было сделано Петером Дебаем в 1912 году. Правильное начало было положено Эйнштейном.

В 1909 году вновь актуальной стала проблема излучения, когда Эйнштейн опубликовал свои работы, посвященные *флуктуациям энергии* излучения и светового давления.

Эйнштейн выполнил очень тонкое длинное теоретическое исследование, в результате которого была получена *двучленная формула для меры флуктуаций* энергии излучения. Причем, первый член этой формулы имеет *квантовый характер*, так как в него входит энергия фотона. Второй член ничего квантового не содержит и может считаться *волновым членом*. Заметим, что при малых частотах излучения существенное влияние оказывает второй член, а при больших частотах – первый, т.е. квантовый.

Фундаментальный вывод, сделанный Эйнштейном, состоял в том, что ни один из этих двух членов порознь не описывает в полной мере флуктуации энергии! Только оба члена в их совокупности дают полную картину флуктуаций энергии света. Одновременно сказываются и квантовые свойства, и волновые! Эти результаты произвели на самого Эйнштейна громадное и неизгладимое впечатление! Он решает заняться вычислениями светового давления.

Световое давление теоретически было предсказано еще Максвеллом в его электромагнитной теории. Это предсказание физики не воспринимали всерьез аж до 1900 года, когда *Петр Николаевич Лебедев* не «ухитрился» измерить его на опыте. Результаты опытов Лебедева были опубликованы в русских, немецких и французских журналах.

Для флуктуаций светового давления Эйнштейн получил формулу, также состоящую из двух членов – квантового и волнового!

Многие ученые просто испытывали растерянность и недоумение «от этой двойственности» (!).

Приведем несколько выступлений маститых ученых на первом Сольвеевском конгрессе физиков в 1911 году.

*Анри Пуанкаре*: «Мне кажется, что последние исследования ставят под вопрос не только основные принципы механики, но и то, что до сих пор представлялось неотделимым от самого понятия *закона природы*. Сможем ли мы выразить эти законы в виде дифференциальных уравнений? Меня поразило в дискуссии то, что одна и та же теория опирается то на принципы старой механики, то на новые гипотезы, являющиеся отрицанием этой механики. Нельзя забывать, что нет положения, которое нельзя было бы доказать, если ввести в доказательство две противоположные посылки».

*Леон Бриллюэн* (22-летний физик, ученик Поля Ланжевена): «Я бы хотел резюмировать впечатление, которое произвело на меня чтение докладов, а еще более наша дискуссия в целом. Быть может самым молодым из нас мое заключение покажется робким, но и такое, оно представляется мне уже очень значительным. Мне кажется, что отныне можно быть уверенным в том, что необходимо ввести в наши физические и химические концепции понятие прерывности – скачкообразности изменения, о котором мы несколько лет назад не имели никакого

представления. Как следовало бы его вводить – это я вижу менее ясно. Нужно идти еще дальше и разрушать самые основы электромагнетизма и классической механики вместо того, чтобы ограничиться применением нового понятия прерывности к старой механике». Вот уж поистине *«удел молодых», не обремененных стереотипами классического мышления!*

Вопрос о двойственности излучения настолько беспокоил всех физиков, что один из них *Генри Брэгг* с горечью произнес: «Если работать в понедельник, вторник и среду с фотоэлементами, то нужно считать свет потоком фотонов, а в четверг, пятницу и субботу с дифракционными решетками – волнами. Слава богу, что есть воскресенье, когда можно забыть и о том, и о другом». Эти слова не требуют комментариев!

Излучение «рождается» в атомах. А как же все-таки устроен атом? Наиболее убедительно (экспериментально!) на этот вопрос ответил Эрнест Резерфорд.

## Эрнест Резерфорд

**Эрнест Резерфорд (1871-1937)** родился в Новой Зеландии в семье переселенца из Шотландии. Его мать – сельская учительница, отец – владелец деревообрабатывающего предприятия. Эрнест получил хорошую подготовку в мастерской отца, что впоследствии помогло ему при конструировании научной аппаратуры.

После школы Эрнест получил стипендию для продолжения образования в колледже, а через два года сдал экзамен в другой колледж – филиал Новозеландского университета. 21-летний Резерфорд получил степень бакалавра гуманитарных наук, лучше всех выдержав экзамены по *математике и физике*. Его магистерская работа касалась обнаружения *высокочастотных радиоволн*, существование которых было доказано в 1888 году Генрихом Герцем. Для изучения этого явления Резерфорд сконструировал беспроволочный радиоприемник (независимо (!) от Попова и Маркони) и с его помощью получал сигналы, передаваемые с расстояния полумили.

В 1894 году в «Известиях философского института Новой Зеландии» была опубликована первая работа Резерфорда «Намагничение железа высокочастотными разрядами». В 1895 году Резерфорд получил стипендию для получения научного образования в Англии. Его пригласил Дж.Дж. Томсон работать в Кембридже в лаборатории Кавендиша. Это было начало великого научного восхождения Эрнеста Резерфорда.

Сотрудничество Резерфорда с Томсоном увенчалось значительными результатами, включая открытие Томсоном электрона – атомной частицы, несущей отрицательный электрический заряд.

Опираясь на свои исследования, Томсон и Резерфорд выдвинули предположение, что рентгеновские лучи, проходя через газы, разрушают атомы газа, высвобождают одинаковое число положительных и отрицательно заряженных частиц. Эти частицы они называли *ионами*. После этих работ Резерфорд целенаправленно занялся изучением *структуры атомов*.

В 1898 году Резерфорд переехал в Монреаль (Канада) и занял должность профессора в университете. Семь лет он работал в Канаде и сделал ряд фундаментальных открытий, в частности, разгадана природа так называемой индуцированной радиоактивности; совместно с Содди открыт *радиоактивный распад* и установлен его закон. Здесь же в Канаде написана книга «Радиоактивность».

Резерфорд и Содди сделали вывод, что «энергия, скрытая в атоме, во много раз больше энергии, освобождающейся при обычном химическом превращении». В частности, постоянство солнечной энергии можно объяснить тем, «что на Солнце идут процессы субатомного превращения».

Поражает прозорливость авторов, которые еще в 1903 году смогли увидеть космическую роль ядерной энергии, которую они назвали внутриатомной.

Размах научной работы Резерфорда в Монреале огромен. Он лично и совместно с сотрудниками опубликовали 66 научных статей и книгу «Радиоактивность», которая принесла Резерфорду славу первоклассного исследования в физике и химии. Он получает приглашение занять кафедру в Манчестерском университете, и в мае 1907 года Резерфорд возвращается в Англию.

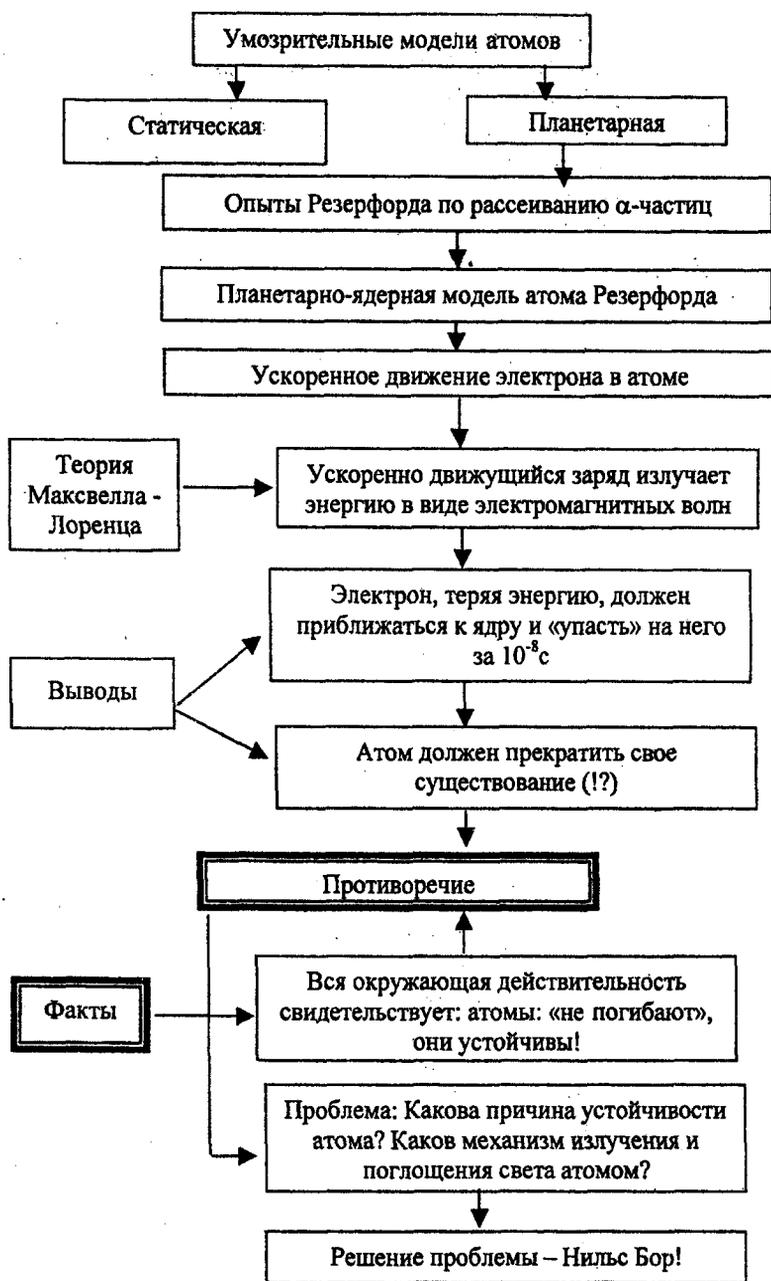
В Манчестере Резерфорд развернул интенсивную деятельность. Приехавший к Резерфорду в 1912 году Нильс Бор так характеризовал этот период: «В это время вокруг Резерфорда группировалось большое число молодых физиков из разных стран мира, привлеченных его чрезвычайной одаренностью как физика и редкими способностями как организатора научного коллектива».

Еще в 1908 году Резерфорду была присуждена Нобелевская премия по химии «За проведенные им исследования в области распада элементов в химии радиоактивных веществ». Представитель Шведской королевской академии наук указал на связь между работой, проведенной Резерфордом, и работами Дж.Дж. Томсона, Анри Беккереля, Пьера и Марии Кюри: «Открытия привели к потрясающему выводу: химический элемент... способен превращаться в другие элементы».

В своей Нобелевской лекции Эрнест Резерфорд, в частности, отметил: «Есть все основания полагать, что альфа-частицы, которые так свободно выбрасываются из большинства радиоактивных веществ, идентичны по массе и составу и должны состоять из ядер атомов гелия.

Мы, следовательно, не можем не прийти к заключению, что атомы основных радиоактивных элементов, таких как уран и торий, должны строиться, по крайней мере частично, из атомов гелия».

Фундаментальные опыты Резерфорда и его учеников по бомбардировке тонкой золотой фольги  $\alpha$  - частицами и их рассеиванию под различными углами могли быть истолкованы однозначно: атомы вещества имеют планетарно-ядерную структуру. Это сразу же привело к острым противоречиям с классической электродинамикой, в справедливости которой после Максвелла – Герца – Лоренца никто из физиков не сомневался! Резерфорд понимал, что он открыл *«обреченный атом»*. Вместе с этим и опыты по рассеиванию альфа-частиц невозможно было ни отменить, ни забыть! Имела место в науке такая ситуация, которую схематически можно представить так:



Широкое признание теории Резерфорда началось, когда к работе в Манчестерском университете подключился датский физик Нильс Бор.

Плодотворная работа резерфордовской группы была прервана первой мировой войной. Был убит на войне Мозли, Чедвик находился в немецком плену, а самого Резерфорда английское правительство назначило членом «Адмиральского штаба изобретений и исследований» для изысканий средств борьбы с подводными лодками противника.

После войны Резерфорд возвратился в манчестерскую лабораторию и в 1919 году сделал еще одно фундаментальное открытие. Ему удалось в лабораторных условиях провести первую ядерную реакцию превращения атомов. Был зарегистрирован протон – частица, несущая единичный положительный заряд! В результате резко возрос интерес ученых-физиков к природе атомного ядра.

48-летний ученый, получивший мировую известность, был приглашен в Кембриджский университет и стал приемником Дж.Дж. Томсона в качестве профессора экспериментальной физики и директора Кавендишской лаборатории, а через два года занял должность профессора естественных наук в Королевском институте в Лондоне.

В своих «Воспоминаниях о профессоре Резерфорде» Петр Леонидович Капица писал: «Наружностью он был довольно плотный, роста выше среднего, глаза у него были голубые, всегда очень веселые, лицо очень выразительное. Он был подвижен, голос у него был громкий, он плохо умел его модулировать, все знали об этом, и по интонации можно было судить – в духе профессор или нет. Во всей его манере общения с людьми сразу с первого слова бросались в глаза его искренность и непосредственность. Ответы его были всегда кратки, ясны и точны. Когда ему что-нибудь рассказывали, он немедленно реагировал, что бы это ни было. С ним можно было обсуждать любую проблему – он сразу начинал охотно говорить о ней».

Ученики и коллеги вспоминали о Резерфорде не только как о выдающемся ученом, но и как о милом, добром человеке. Они восхищались его необычным творческим мышлением.

Эрнест Резерфорд – член всех академий наук мира, он создал большую школу физиков, среди которых более двух десятков с мировым именем, в том числе П.Л. Капица, Ю.Б. Харитон, А.И. Лейпунский, К.Д. Синельников и др.

Практически до конца своей жизни Эрнест Резерфорд отличался крепким здоровьем и умер после непродолжительной болезни. Похоронен в Вестминстерском аббатстве в честь признания выдающихся заслуг в развитии науки.

Заметим, что Эрнест Резерфорд прямо и непосредственно не участвовал в создании квантовой теории, но его эксперименты по рассеиванию альфа-частиц на атомах вещества привели к необходимости принятия планетарно-ядерной модели. Эта модель породила острые противоречия между результатами опытов и законами классической физики.

Решение этой научной проблемы и привело в конце концов к созданию *квантовой механики* – теории микроявлений в мире атомов (Н. Бор, В. Гейзенберг, Лун де Бройль, Э. Шредингер, П. Дирак).

## Нильс Бор

Датский физик Нильс Бор (1885-1962) родился в Копенгагене в семье профессора физиологии. Учился Нильс в грамматической школе и окончил ее в 18-летнем возрасте.

Семья с устоявшимися «профессорскими традициями» поддерживала атмосферу высокой интеллектуальности, которая сочеталась с чистосердечием и добротой.

В школе Нильс не блистал, но считался способным учеником, вдумчивым и любознательным. Он отличался прилежанием и трудолюбием. Где-то к седьмому классу стало совершенно ясно, что в области физики и математики мальчик очень талантлив. Сам же Нильс Бор настолько уверовал в собственные знания, что начал критиковать школьный учебник физики, якобы неправильно толковавший некоторые вопросы. Вместе с тем Нильс увлекался историей и языками, успешно писал сочинения, в основном на латинском языке.

Любовь к физике и математике благополучно уживались у Нильса с любовью к поэзии. Стихи он читал наизусть медленно и мечтательно, как будто произносил молитву. Он обладал подлинным лирическим чувством.

В университетские годы брат Нильса Харальд пользовался большей популярностью, чем Нильс, правда, не столько как талантливый студент, сколько как один из лучших футболистов Дании. В 1908 году Харальд на лондонской олимпиаде в составе сборной Дании завоевал серебряную медаль. Нильс также был страстным футболистом, играл вратарем в университетской команде, иногда выступал в качестве вратаря в команде высшей лиги.

В учебе Нильс Бор преуспевал и очень скоро в университете заставил о себе заговорить. Вот, например, что писала одна студентка своему другу: «Кстати о гениях. С одним из них я встречаюсь каждый день. Это Нильс Бор, о котором я тебе уже рассказывала; его незаурядные способности проявляются все в большей степени. Это самый лучший, самый скромный человек на свете. У него есть брат Харальд, он почти такой же талантливый и учится на математическом отделении. Я никогда не встречала двух столь неразлучных и любящих друг друга людей. Они очень молоды, одному – 17, другому – 19 лет, но я предпочитаю разговаривать только с ними, потому что они очень приятные».

В дипломном проекте Нильс Бор определял поверхностное натяжение воды по вибрации водяной струи. За это исследование ему была присуждена золотая модель Датской королевской академии наук. Его докторская диссертация по теории электронов в металлах была

признана значительным теоретическим исследованием. Заметим, что в этой работе вскрывалась *неспособность классической электродинамики объяснить магнитные явления* в металлах. Бор смог понять на ранней стадии своей научной деятельности, что классическая теория не может полностью описать поведение электронов.

После получения докторской степени в 26-летнем возрасте Бор отправился в Англию, в Кембриджский университет, чтобы поработать с открывателем электрона Дж.Дж. Томсоном. Следует отметить, что к этому времени Томсон уже занимался другими проблемами и не проявлял особого интереса к диссертации Бора и содержащимся там выводам. Недостаток знаний английского языка затруднял возможности общения Бора с учеными-физиками. Со свойственным ему терпением он преодолевал эти трудности, не расставаясь с английским словарем всю свою жизнь.

В октябре месяце 1911 года на ежегодном праздничном обеде в Кавендишской лаборатории Нильс Бор впервые увидел Эрнеста Резерфорда, который произвел на него сильное впечатление. Бор сразу заинтересовался исследованиями Резерфорда и его сотрудников по проблемам радиоактивности элементов и строения атома.

В течение несколько месяцев в начале 1912 года Бор сделал много выводов из ядерной модели атома, которая к этому времени еще не получила широко признания. В дискуссиях с Резерфордом и другими учеными Бор вынашивал и отработывал идеи, которые привели его к созданию своей собственной модели строения атома.

Летом 1912 года Нильс Бор возвратился в Данию и стал ассистент-профессором Копенгагенского университета. Вскоре он женился, а свадебное путешествие молодые супруги совершили в Англию, где снова встретились с Резерфордом.

Маргарет Бор стала подлинной и незаменимой опорой мужу не только благодаря силе своего характера, уму и знанию жизни, но, прежде всего, благодаря своей беспредельной преданности. У них было шесть сыновей, один из которых, Оге Бор, также стал известным физиком.

Бор продолжал работать над проблемой «обреченного» атома Резерфорда. Согласно классической электродинамике, движущийся по орбите вокруг ядра электрон, должен излучать и постоянно терять энергию, а потому приближаться к ядру и соединяться с ним. Атом должен прекратить свое существование.

Реально же атомы достаточно стабильны, а потому возникает противоречие между классической теорией и моделью атома Резерфорда. Возможно решение этой научной проблемы, как полагал Бор, может лежать в квантовой теории!

Применяя новые квантовые идеи к проблеме строения атома, Нильс Бор предположил, что электроны обладают некоторыми

«разрешенными» устойчивыми орбитами, находясь на которых они не излучают энергию. Идея определенности орбит (орбиты не могут быть произвольными!) была, безусловно, революционной! Эта идея давала ключ к разделению спектров излучения и поглощения атомов. Согласно теории Бора каждая яркая цветная линия (конкретная длина волны) соответствует свету, излученному атомом при переходе электронов с одной разрешенной орбиты на другую с более низкой энергией.

*Формула Бора для частот содержала постоянную Планка, которая входила в правило квантования орбит и являлась своеобразной «меткой» квантовых явлений!*

Теория Бора, опубликованная в 1913 году, принесла ему известность. Все стали говорить, что «обреченный» атом Резерфорда «спас» Бор, так что модель атома стала моделью Резерфорда-Бора!

Очень быстро оценив важность работ Бора, Резерфорд предложил ему ставку лектора в Манчестерском университете. Бор дал согласие и занимал эту должность с 1914 по 1916 год, после чего занял пост профессора, учрежденный лично для него в Копенгагенском университете. Бор продолжал работать над проблемой строения атома. В 1920 году он основал Институт теоретической физики в Копенгагене. Бор руководил этим институтом до конца своей жизни за исключением времени второй мировой войны, когда он вынужден был покинуть Данию.

Под руководством Нильса Бора этот институт сыграл ведущую и определяющую роль в развитии квантовой механики. В течение нескольких лет модель атома Резерфорда-Бора была усовершенствована и заменена более сложной *квантово-механической моделью*, основанной главным образом на исследованиях его студентов и коллег-сотрудников.

Атом Бора сыграл предопределяющую роль моста, связывающего атомную структуру с миром квантовой физики.

Нобелевская премия 1922 года гласила «За заслуги в исследовании строения атомов и испускаемого им излучения». На презентации лауреата член Шведской королевской академии наук Аррениус отметил, что научные открытия Бора «подвели его к теоретическим идеям, которые лежали в основе классических постулатов Джеймса Клерка Максвелла...». Заложенные Бором принципы «обещают обильные плоды в будущих исследованиях».

Под научным руководством Нильса Бора было создано то, что впоследствии было названо «копенгагенской интерпретацией квантовой механики...»

Положив в основу *принцип неопределенности* Вернера Гейзенберга, копенгагенская научная школа Бора укореняла в сознании ученых мысль о том, что жесткие законы причины и следствия неприменимы к внутриатомным явлениям. Эти явления можно истолковать только на

языке *вероятностей*, а поэтому ни о каких *классических траекториях* электрона в атоме не может быть и речи.

Нильс Бор сформулировал два фундаментальных принципа, положенных в основу развития квантовой физики: *принцип соответствия* и *принцип дополнительности*. Первый утверждает, что квантово-механическое описание макромира должно соответствовать его описанию в рамках классической физики. Второй принцип утверждает, что волновой и корпускулярный характер вещества и излучения представляют собой взаимодополняющие свойства, которые одновременно не проявляются, но являются необходимыми компонентами понимания природы.

В тридцатые годы Бор начал заниматься проблемами ядерной физики. В это время Энрико Ферми с сотрудниками изучали атомные ядра на основе бомбардировок их нейтронами. Бор вместе с другими учеными разрабатывал капельную модель ядра. Это дало возможность в конце 1938 года разработать теорию деления ядра. Это сделали немецкие физики Отто Ганн, Отто Фриш и Лиза Мейтнер.

В первые годы войны Бор продолжал работать в Копенгагене в условиях германской оккупации. Под угрозой ареста его и членов его семьи Бор в 1943 году переправился в Швецию, а оттуда английская военная разведка переправила его вместе с сыном Оге в Англию в пустом бомбовом отсеке британского военного самолета.

Нильс Бор встречался с президентом США Рузвельтом и премьер-министром Великобритании Черчиллем, пытаясь убедить их быть открытыми в отношении с СССР в вопросах нового атомного оружия. Он настаивал на установлении системы контроля над вооружениями в послевоенный период. В 1950 году Бор послал открытое письмо в ООН, призывая к «открытому миру» и международному контролю над вооружениями.

А вот как воспринял научный мир научные идеи Нильса Бора в первые годы разработки теории атома.

1913 г. А. Эйнштейн: «Если это правильно, то это означает конец физики как науки».

1920 г. Нидерландский физик Х. Крамерс: «Теория квантов подобна другим победам в науке: месяцами вы улыбаетесь им, а затем годами плачете».

Немецкий физик В. Гейзенберг: «Пусть это и безумие, но в нем есть метод».

1923 г. Нидерландский физик Х. Лоренц: «Все это красиво и крайне важно, но, к сожалению, не очень понятно». Лоренц сетовал на то, что не умер несколькими годами раньше, когда в физике сохранялась относительная ясность.

1925 г. Швейцарский физик В. Паули: «Физика снова зашла в тупик, во всяком случае для меня она слишком трудна, и я предпочел бы быть комиком в кино или кем-нибудь вроде этого и не слышать ничего о физике».

1949 г. А. Эйнштейн: «Это мне кажется чудом и теперь. Это наивысшая музыкальность в области мысли».

А об ученом Нильсе Боре А. Эйнштейн сказал так: «Что удивительно привлекает в Боре как ученом-мыслителе, так это редкий сплава 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».

Лучше не скажешь! Ученый-физик, мыслитель Нильс Бор ушел из жизни в 77-летнем возрасте в результате сердечного приступа. А след его в науке – это яркая определенная *классическая траектория*, не смотря на справедливость принципа неопределенности!

Владимир Александрович Фок (один из величайших ученых, причастных к разработкам квантовой теории) о работах Бора высказался так: «Общее впечатление от всех работ Бора, начиная с самых первых, - их глубокая диалектичность. Бора не волнуют противоречия, возникающие тогда, когда к существенно новым явлениям природы подходят с точки зрения старых понятий и старых взглядов, он ищет разрешение противоречий в новых идеях».

Нильс Бор – почетный член более 20 академий наук и многих научных обществ!

Свою последнюю поездку в Советский Союз Нильс Бор с супругой, сыном Оге и невесткой совершили в мае 1961 года. Бор посетил Институт атомной энергии, Объединенный институт ядерных исследований, Институт физический проблем, Физический институт Академии наук и Московский университет (МГУ). Он много общался с физиками-теоретиками, знакомился с лабораториями, осматривал аппаратуру. «Особенно хочется отметить, - сказал Бор, - впечатления, полученные нами от посещения Объединенного института ядерных исследований в Дубне, где мы видели огромные установки для изучения элементарных составных частей материи, проектирование и создание которых требовало не только всесторонних профессиональных знаний, но, кроме того, большого мужества».

Нильс Бор с женой Маргарет побывали в гостях у академика Ландау, который осчастливил университетских физиков, приведя к ним великого ученого на их веселый ежегодный «праздник Архимеда».

Бор был в восторге и, поднявшись на сцену, произнес несколько взволнованных фраз, вызвавших в зале овацию. «Сегодня вечером, - сказал он, - я многое узнал о физике и в особенности о том материале, из

которого делаются физики. Если они способны на такую же изобретательность и остроумие и в физике – они многое совершат».

Читая лекцию студентам МГУ, Бор говорил, что математический аппарат не должен заслонять физическую сущность. Математические символы должны быть понятны хотя бы настолько, чтобы их могли выучить студенты. Математический аппарат нужен для краткого и четкого выражения физических идей и понятий.

На семинаре у Капицы Ландау спросил Бора, в чем его секрет работы с молодыми учеными, на что Бор ответил: «Мы не боялись показать молодому человеку, что мы сами глупы. Мы никогда не воздерживались от заострения разногласий и противоречий. При этом я всегда был против того, чтобы высказывались некие «окончательные и определенные» суждения. Я считаю, что вопрос надо поддерживать в состоянии неопределенности и никогда не терять чувство юмора».

На прощание гостя попросили сделать на стене кабинета памятную запись. Бор взял мел и против надписи, оставленной шесть лет назад Дираком, начертил изречение на латынском языке:

«Противоположности – не противоречия, а дополнения».

Это и была «красная линия» жизни великого ученого-физика Нильса Хендрика Давида Бора!

### Атом водорода по Бору

#### Движение электрона

$$\begin{array}{l}
 F = ma \\
 F = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \\
 a = \frac{v^2}{r}
 \end{array}
 \left| \begin{array}{l}
 E_k = \frac{mv^2}{2} \\
 E_{\pi} = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r}
 \end{array} \right| \rightarrow E = -\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r} \quad r - ?$$
  

$$\begin{array}{l}
 \text{Правило} \\
 \text{квантования}
 \end{array}
 \quad \rightarrow v^2 = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 mr} \quad \left| \begin{array}{l}
 mvr = n\hbar \Rightarrow v = \frac{n\hbar}{mr} \\
 \Rightarrow r = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{me^2} n^2
 \end{array} \right.$$

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

$$n_1 - r_1$$

$$n_2 - r_2$$

.....

$$n = 1 \quad r = 0,53 \cdot 10^{-10} \text{ м!}$$

## 1-ое удивительное совпадение с опытом!

*Энергия электрона в атоме*

$$E_n = -\frac{me^4}{(4\pi E_0)^2 \cdot 2\hbar^2} \cdot \frac{1}{n^2}$$

$$E_1 = -2,485 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = -13,53 \text{ эв}$$

$E = -13,53 \text{ эв}$  энергия связи электрона с ядром – энергия ионизации

## 2-ое удивительное совпадение с опытом!

*Частота излучения поглощения света атомом*

$$\begin{array}{l} E_n = -\frac{me^4}{(4\pi E_0)^2 \cdot 2\hbar^2} \cdot \frac{1}{n^2} \\ E_k = -\frac{me^4}{(4\pi E_0)^2 \cdot 2\hbar^2} \cdot \frac{1}{k^2} \end{array} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} E = h\nu \\ Y_n = \frac{E_k - E_n}{h} = R\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2}\right) \\ Y = R\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2}\right) \end{array} \right.$$

Для  $n=2$  Формула Бальмера (1885г. – год рождения Бора!)

$$Y = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{k^2}\right) \quad k = 3, 4, \dots$$

## 3-е удивительное совпадение с опытом!

# Арнольд Зоммерфельд

Арнольд Зоммерфельд (1868-1951) немецкий физик–теоретик родился в Кенигсберге, учился там же в университете, занимал профессорские должности в Геттингенском университете, в Горной академии, в Высшей технической школе, в Мюнхенском университете.

Начиная с 1915 года Зоммерфельд довольно успешно развивал боровскую теорию, используя вместо круговых орбит для электронов в атоме эллиптические орбиты. Он ввел в рассмотрение фазовые интегралы, число которых должно быть равно числу степеней свободы.

Научные работы посвящены квантовой теории атома, квантовой теории металлов, спектроскопии, математической физике.

В квантовой теории спектральных линий, исходя из боровской модели атома, осуществил синтез квантовой теории и теории

относительности, разработал квантовую теорию эллиптических орбит (теория Бора-Зоммерфельда).

Зоммерфельд ввел радиальное и азимутальное квантовые числа, объяснил тонкую структуру водородного и рентгеновского спектров.

В 1916 году совместно с П. Дебаем построил квантовую теорию эффекта Зеемана и ввел магнитное квантовое число.

Арнольд Зоммерфельд был не только крупным ученым, но и выдающимся педагогом.

Он создал в Мюнхене научную школу, которую прошли многие нобелевские лауреаты по физике: Вольфганг Паули, Вернер Гейзенберг, Ханс Бете и др. Им создан многотомный курс теоретической физики, сохраняющий свое значение и сейчас.

Зоммерфельд – член многих академий наук и научных обществ.

Как нередко случалось в истории физики, одна и та же проблема разрабатывалась независимо друг от друга несколькими учеными-исследователями. Это свидетельствовало об актуальности проблемы. Наибольших успехов добился Зоммерфельд, исследования которого составили ядро его будущей знаменитой книги «Строение атома и спектры». Работа состояла из трех частей: Теория серии Бальмера; Тонкая структура водородных и водородоподобных атомов; Теория рентгеновских спектров.

В первой части Зоммерфельд указывает, что теория Бора существенно дополняется введением некруговых орбит. Затем Зоммерфельд формулирует общий принцип теории спектральных серий: «Стационарные орбиты электронов в атоме (и в дальнейшем в молекуле) не образуют континуума, а представляют некоторую сетчатую конструкцию. Фазовое пространство, как множество всех мыслимых, в том числе и нестационарных состояний, пронизано петлеобразно фазовыми кривыми стационарных орбит. Размеры петель определяются Планковской  $h$ ».

Зоммерфельд обосновал, что различие между оптическими (серия Бальмера) и рентгеновскими спектрами заключается в том, что оптические спектры возбуждаются периферическими электронами атома, не принадлежащими электронному облаку, тогда как рентгеновские спектры испускаются внутри этого облака. Как оптические, так и рентгеновские спектры будут тем более водородоподобными, чем дальше от электронного облака расположено место их возбуждения. Поэтому в видимых спектрах простота сериального закона сохраняется тем лучше, чем выше сериальный номер; в рентгеновских же спектрах, наоборот, только для наиболее низких чисел; для высших номеров орбиты проникают в электронное облако и, чем более это проникновение, тем сложнее сериальный закон.

Таким образом, Арнольд Зоммерфельд развил и усовершенствовал теорию атома Бора и распространил ее на водородоподобные атомы. В основу теории Зоммерфельда положена квантово-механическая модель Бора-Зоммерфельда.

## Луи де Бройль

Луи де Бройль (1892 - 1987) родился на севере Франции в одной из самых аристократических семей старинного герцогского рода. Его дальний предок в XVII веке перешел на службу к французскому королю из Италии. Интересно отметить, что в родовом имении де Бройлей родился Френель – основоположник волновой оптики. Он был внуком управляющего имением де Бройлей.

Луи и его старший брат Морис стали физиками, но совершенно разными путями. Морис был на 17 лет старше Луи и занимался физикой профессионально. Он работал у Ланжевена, руководил лабораторией по исследованию свойств рентгеновских лучей. Волновая природа рентгеновских лучей была до конца исследована только в 1912 году, когда Макс Лауэ исследовал их дифракцию в кристаллах. Рентгеновские излучения настолько коротковолновые, что дифракционной решеткой для него может служить кристаллическая решетка вещества.

Морис де Бройль, как сотрудник Ланжевена, был ученым секретарем Сольвеевского конгресса физиков. Он обрабатывал и готовил к печати научные труды конгресса. При этом присутствовал младший брат Мориса – Луи де Бройль.

Луи окончил лицей в Париже, а затем получил степень бакалавра истории в Парижском университете (Сорбонне). Проявив интерес и склонности к точным наукам, он отказался от карьеры историка и палеонтолога и в той же Сорбонне получил степень бакалавра точных наук.

После службы в армии в годы первой мировой войны Луи де Бройль работал в лаборатории брата, где занимался экспериментальным изучением самых высокочастотных излучений, которые были доступны только спектроскопическому исследованию и где *проблема выбора между корпускулярной и волновой трактовкой оптических явлений стояла особенно остро.*

В 1923 году появились первые работы Луи де Бройля, а в 1924 году он защитил свою докторскую диссертацию на тему: «Исследования в области квантовой теории», в которой сделана попытка перебросить мост между противоположными теориями.

Де Бройль распространил идею А. Эйнштейна о двойственной природе света на вещество, предположив, что *поток материальных частиц должен обладать и волновыми свойствами*, однозначно

связанными с массой и энергией. Иными словами, движение частицы де Бройль сопоставил с распространением волны. Однако в случае частиц со значительной массой, с которыми имеет дело классическая механика, почти полностью преобладают корпускулярные свойства. Волновые же свойства являются определяющими у частиц атомных размеров.

Отступив на первых порах от глубокого революционного содержания своей теории, де Бройль попытался сохранить с помощью различных гипотез традиционную детерминистскую интерпретацию классической физики. Столкнувшись с огромными математическими трудностями, он вынужден согласиться с *вероятностной интерпретацией*, в которой классическая механика становилась просто частным случаем более общей волновой механики.

Экспериментальное подтверждение теории де Бройля было получено четыре года спустя американскими физиками, обнаружившими, что атомные частицы (электроны и протоны) благодаря своим волновым свойствам могут, подобно свету и рентгеновским лучам, испытывать дифракцию.

Независимо от этих американских ученых К. Девиссона и Л. Джермера экспериментальное подтверждение волновых свойств электронов получил и Джордж Паджет Томсон – сын знаменитого Дж. Дж. Томсона, открывшего электрон как частицу.

Позднее идеи де Бройля и его теория получили практическое осуществление при разработке магнитных линз, служивших основой *электронного микроскопа*.

Лауреат Нобелевской премии в области физики 1929 года Луи де Бройль в том же году получил от Французской академии наук впервые учрежденную медаль Анри Пуанкаре.

С 1926 года он много занимался вопросами образования. Прочитав циклы лекций в Сорбонне и Гамбургском университете, де Бройль получил кафедру теоретической физики в Институте имени Анри Пуанкаре, где организовал центр по изучению новейшей теоретической физики.

Луи де Бройль занимался решением проблем, которые возникали из-за недостаточной связи науки с производством. Он основал в Институте имени Анри Пуанкаре отдел исследований по прикладной механике.

Этот интерес к практическому приложению нашел свое отражение в его последних работах, посвященных ускорителям заряженных частиц, волноводам, атомной энергии и кибернетике.

Луи де Бройль совместно со своим братом Морисом опубликовал важные научные работы по физике атомных частиц и оптике. В своих лекциях и популярных книгах он обсуждает философские стороны научных проблем, возникающих в новых физических теориях. Самая

последняя работа в этой области «История развития современной физики от Первого Сольвеевского конгресса физиков 1911 года до настоящего времени».

За свою литературную работу он удостоен избрания в 1946 году во Французскую академию. Луи де Бройль был почетным президентом Французской ассоциации писателей – ученых и в 1952 году получил первую премию за высокое качество научных работ.

Когда в 1945 году французское правительство образовало Высшую Комиссию по атомной энергии, Луи де Бройль был назначен ее техническим советником. В роду де Бройлей было много знаменитых людей – министры, маршалы, парламентарии, но физиков не было. Они появились только в XX веке. Морис имел титул герцога, а Луи – графа. Но мировую известность им принесли достижения в физических исследованиях. Особенно Луи, который «не уронил» определение «знаменитый» из рода де Бройлей.

Научные работы Луи де Бройля – огромный шаг в развитии квантовой физики. Он не только выдвинул *идею волновых свойств вещества*, он еще и соединил эти идеи со специальной теорией относительности. В основу своей работы де Бройль положил два принципа: *принцип наименьшего действия Гамильтона* из механики и *принцип Ферма* из оптики. *Первый* утверждает, что свободная частица движется между двумя точками по наикратчайшему пути так, что действие вдоль этого пути экстремально. *Второй*, установленный в оптике несколько веков назад, утверждает, что световой луч распространяется между двумя точками по кратчайшему оптическому пути, затрачивая на это минимальное время. Это и есть, так называемая, *оптико-механическая аналогия*.

Рассмотрим *волны де Бройля* на математическом языке, отражающем физическую сущность.

Энергия фотона на основе формулы Планка  $E = h\nu$ , а на основе

формулы Эйнштейна  $E = mc^2$ . Так как  $c = \lambda\nu$ ,  $p = mc$ , то  $\lambda = \frac{h}{p}$ .

*Блестящая идея де Бройля*: Если световые волны обладают и корпускулярными свойствами, то частицы (электроны) должны проявлять и волновые свойства!

$\lambda = \frac{h}{mv}$ , где  $m$  - масса электрона,  $v$  - его скорость.

В своих первых работах де Бройль рассматривал проблему на примере электрона, но полученная формула справедлива для любых материальных тел, причем длина волны де Бройля тем меньше, чем больше масса тела. Отсюда следует, что для макротел длина волны значительно меньше их размеров, так что их волновые свойства практически не проявляются.

Однако, если при классическом подходе волна представляет состояние движения непрерывной среды, то при квантовом рассмотрении частицы распространяются и распределяются в интерференционной картине так, будто они принадлежат некоторой волне. Как писал де Бройль, «новая механика не позволяет приписывать корпускуле положение в пространстве, которое она занимает с полной достоверностью. Она лишь утверждает, что корпускула с необходимостью находится в той области пространства, которая занята волной. Чем больше амплитуда волны в данной точке, тем больше шансов обнаружить частицу в этой точке». Из этого следует, что по сути дела Луи де Бройль ввел понятие *волны вероятности*.

В технике давно научились «обращаться» с электронными волнами. То, что быстродвижущиеся электроны легко отклоняются электрическими и магнитными полями, стало достоверным научным фактом. Используя магнитные катушки специальной формы и соответственно располагая их, мы можем фокусировать и направлять электронные пучки совершенно так же, как мы это делаем со световыми пучками в состоящих из линз оптических системах. *Это открытие привело к созданию электронного микроскопа!*

Определяющим критерием для микроскопа является его *разрешающая способность*. Наименьшее различимое расстояние между двумя точками составляет величину порядка половины длины волны используемого для освещения света. Длина волны де Бройля для электрона зависит от его скорости, а тем самым – от напряжения, ускоряющего электроны. При напряжении 15 кВ длина волны составляет 0,01 нм ( $10^{-11}$  м), так что разрешающая способность возрастает по сравнению с оптическим микроскопом на несколько порядков. Серийные электронные микроскопы гарантируют разрешение точек, находящихся на расстоянии 0,5 нм, что соответствует увеличению в 500000 раз!

И, наконец, «послушаем» самого Луи де Бройля: «Что касается квантовой теории, то о ней, я полагаю, читатель имеет еще более смутное представление. Правда, это и простительно, ведь кванты довольно загадочная вещь. Что касается меня, то я начал заниматься квантами, когда мне было около двадцати лет, и продолжал изучать их в течение четверти века. И все же я должен честно признаться, что если за все это время я и добился несколько более глубокого понимания некоторых сторон этого вопроса, то я не могу еще с полной уверенностью сказать, что таится под маской, скрывающей подлинное лицо квантов. Тем не менее, мне кажется, что, несмотря на всю важность и значимость прогресса, происшедшего в физике за последние века, ученые были не в состоянии глубоко понять истинную природу явлений, пока они ничего не знали о существовании квантов. Ибо без квантов нельзя было бы представить себе ни света, ни материи», т.е. вещества!

И далее: «Сказанного здесь уже достаточно, чтобы показать читателю, как глубока и интересна квантовая теория. Она не только вызвала к жизни отрасль науки – атомную физику – наиболее живую и увлекательную, но также бесспорно расширила наши представления о мире и привела к появлению многих новых идей, которые оставят, без сомнения, глубокий след в истории человеческой мысли. Именно поэтому квантовая физика представляет интерес не только для специалистов, она заслуживает внимание каждого культурного человека».

Луи де Бройль дожил до 95 лет. За годы своей активной деятельности он написал 43 книги, последнюю из них в возрасте 90 лет! Он, всемирно известный ученый, является автором более 200 научных статей по квантовой физике, опубликованных в разное время и в различных журналах.

Дебройлевскую идею о всеобщности корпускулярно-волнового дуализма использовал Эрвин Шредингер при создании своей волновой механики.

## Эрвин Шредингер

**Эрвин Шредингер (1887 - 1981)** – австрийский физик, лауреат Нобелевской премии (1933 г.)

Его отец был владельцем фабрики по производству клеенки, увлекался живописью и испытывал интерес к ботанике. Единственный ребенок в семье, Эрвин получил начальное образование дома. О своем отце Шредингер впоследствии вспоминал как о «друге, учителе и не ведающем усталости собеседнике». В Академической гимназии Эрвин был первым учеником по греческому языку, латыни, классической литературе, математике и физике. В эти же гимназические годы у Эрвина возникла и укрепилась любовь к театру.

В Венском университете лекции по физике произвели на Шредингера глубокое и неизгладимое впечатление.

В 1910 году Шредингер защитил докторскую диссертацию, а в 1913 году вместе с Кольраушем получил премию Императорской академии наук за экспериментальные исследования радия.

Во время первой мировой войны Шредингер служил офицером – артиллеристом в гарнизоне, расположенном в горах, вдали от линии фронта. В свободное время он изучал общую теорию относительности А. Эйнштейна. После войны Эрвин Шредингер возвратился во 2-й физический институт в Вене, где продолжил свои исследования по общей теории относительности, статистической механике и дифракции рентгеновского излучения.

Интересуясь широким кругом физических проблем, Шредингер следит и за развитием квантовой теории, но конкретно не занимался этими проблемами вплоть до 1925 года. В этом году Шредингер ознакомился с благоприятным отзывом Эйнштейна по поводу волновой теории материи Луи де Бройля.

Как известно, квантовая теория началась с Макса Планка, а затем к ней «приложили руку» Альберт Эйнштейн, Нильс Бор, Эрнест Резерфорд, Арнольд Зоммерфельд.

Новая существенная идея появилась в 1924 году, когда Луи де Бройль выдвинул радикальную гипотезу о волновом характере материи (вещества, его частиц).

Под впечатлением комментариев Эйнштейна по поводу идей де Бройля Шредингер предпринял попытку применить *волновое описание электронов* к построению последовательной *квантовой теории*, не связанной с неадекватной (как писал Шредингер) моделью атома Бора. По сути дела он попытался сблизить квантовую теорию с классической физикой, которая накопила немало примеров математического описания волн.

Первая попытка, предпринятая в 1925 году, оказалась неудачной. В теории Шредингера скорости электронов были близки к скорости света, что требовало включения в теорию релятивистских эффектов. Одной из причин неудачи было то, что Шредингер не учел наличия *специфического квантового свойства электрона*, а именно – его *спина*, о котором в то время было мало сведений. Спин электрона не был общепринятым понятием. В 1926 году Шредингер делает новую попытку, заранее выбирая скорости электронов настолько малыми, чтобы необходимость привлечения специальной теории относительности отпала сама собой. В таком случае Шредингеру удалось составить *волновое уравнение*, которое позволяло осуществлять математическое описание материи на основе *волновой функции*. Решение волнового уравнения Шредингера находилось в согласии с экспериментальными данными, что оказало глубокое влияние на последующее развитие квантовой теории.

Работа Шредингера имела большой резонанс. Вот как описывал сложившуюся ситуацию Вернер Гейзенберг: «1926 год начался с сенсации. Сначала по слухам, а затем в виде корректурных листов мы получили сведения о первой работе Шредингера по волновой механике, где задача определения энергетических уровней в атоме решалась просто как проблема отыскания собственных значений для трехмерных материальных волн. Физическая картина, из которой исходил Шредингер, принадлежала Луи де Бройлю и выглядела совершенно иначе, чем принятая нами за основу атомная модель Бора. Но результаты получались те же самые, и важные формальные аналогии были налицо.

Понятие электронной орбиты у Шредингера отсутствовало точно так же, как и в геттингенской квантовой механике, и в обеих теориях определение энергетических уровней стационарных состояний сводилось к проблеме собственных значений в линейной алгебре. Подозрение, что обе теории математически эквивалентны, т.е. допускают взаимное преобразование, возникло очень скоро и обсуждалось повсеместно».

С физической интерпретацией волновой функции в уравнении Шредингера имели место принципиальные расхождения, которые четко были выражены тем же Вернером Гейзенбергом: «Шредингер понимал тогда свои волны как настоящие трехмерные материальные волны – сравнимые, скажем, с электромагнитными волнами – и намеревался полностью изгнать из квантовой теории черты прерывности, в особенности так называемые квантовые переходы. Я протестовал против этого при обсуждении доклада, поскольку, как я понимал, на таком пути невозможно объяснить даже закон теплового излучения Планка. Но к согласию тогда прийти не удалось, и другие физики в своем большинстве надеялись вместе со Шредингером, что квантовых переходов можно как-нибудь избежать. Потом в сентябре в Копенгагене состоялась подробная дискуссия между Бором и Шредингером, растянувшаяся, насколько я помню, более чем на неделю; я участвовал в ней так долго, как было возможно. Споры были страстными, и разногласия доходили до общих упреков. В конце концов мы, копенгагенцы, убедились, что шредингеровская интерпретация несостоятельна и что квантовые переходы являются существенной частью внутриатомных процессов».

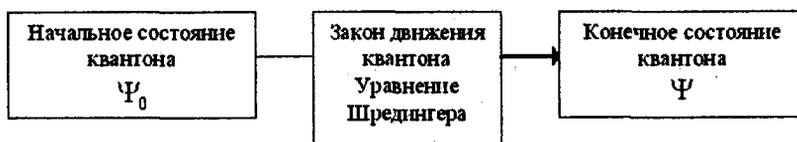
Шредингер предложил *самое главное уравнение квантовой механики* и при этом ошибочно верил, что его уравнение, наконец-то, покончит с квантовыми скачками. Вот его восклицание во время дискуссии: «Если никак нельзя обойтись без этих проклятых квантовых скачков, то я жалею о том, что связался с атомной теорией!»

Но возврата к физике непрерывного, конечно, не произошло. Квантовые значения различных величин *естественным образом возникали в результате решения соответствующих уравнений Шредингера*. Везде «маячила метка» квантовых явлений – постоянная Планка  $h$ ! «Проклятые квантовые скачки» с их неизбежной вероятностной трактовкой прочно утвердились в квантовой физике! Более того, сама *волновая функция Шредингера получила вероятностное толкование!*

Состояние класстона характеризуется точными значениями координат  $(X, Y, Z)$  и импульсов  $(P_x, P_y, P_z)$  одновременно!

Состояние квантона характеризуется волновой функцией  $\Psi$ . При движении квантона изменяется область его локализации  $\Psi(x, y, z, t)$ , изменяются *вероятности возможных значений* его импульса, при чем при изменении состояния изменяется и волновая функция. Определить

новое состояние квантона, значит определить, как изменяется его волновая функция, т.е. найти новую волновую функцию, если известно ее начальное значение и поля, действующие на квантон. Основным законом квантовой механики – закон изменения состояния, т.е. закон изменения волновой функции. *В математической форме этот закон – уравнение Шредингера.*



Закон, описывающий пространственно-временную эволюцию квантона – уравнение Шредингера, как и 2-й закон Ньютона, невозможно вывести. Это исходные фундаментальные законы, являющиеся обобщением большого количества опытных данных!

Волновая функция есть специфическое отображение, носящее «волновой» характер. «Волновое отображение» превращает совокупность отдельных возможностей квантовых систем в некое единое образование (квантон). При этом дискретность сочетается с непрерывностью, часть – с целым, элемент – с системой, определенность – с неопределенностью, возможность – с действительностью!

*Вероятностную интерпретацию волновой функции Шредингера предложил в 1926 году Макс Борн.*

В 1924 году, когда Макс Планк по возрасту должен был выйти в отставку с поста заведующего кафедрой, Шредингер занял кафедру Планка. Это свидетельствовало об очень высокой оценке роли Шредингера в создании квантовой механики.

Личность Шредингера интересна во многих отношениях. Помимо физики он профессионально занимался философией. Им написаны книги по греческой философии, а также книга «Что такое жизнь», в которой исследован подробно и основательно генетический код. Эрвин Шредингер был широко эрудированным человеком, интересовался искусством, сам занимался лепкой. Шредингер опубликовал томик своих стихов.

Кроме Нобелевской премии, Шредингер был удостоен многих наград и почестей. Он был почетным доктором университетов Гента, Дублина, Эдинбурга, состоял членом Папской академии наук, Лондонского королевского общества, Берлинской академии наук, Академии наук СССР, Дублинской академии и Мадридской академии наук.

## Вернер Гейзенберг

Вернер Гейзенберг (1901-1976) родился, когда заканчивался 1901 год. В это время идея квантования исполнилось ровно один год. Это значит, что Вернер Гейзенберг был одним из самых молодых ученых – создателей квантовой теории. Он автор открытия одного из чрезвычайно важных принципов науки – *принципа неопределенностей*.

Родители Вернера жили в немецком городе Вюрцбурге. Его отец благодаря успешной научной деятельности сумел подняться до уровня представителей высшего класса немецкой буржуазии. В 1910 году, когда Вернеру было 9 лет, отец стал профессором византийской философии Мюнхенского университета. При рождении Вернера семья решила, что он тоже должен достичь высокого социального положения *благодаря образованию*.

Десятилетнего Вернера отдали в престижную гимназию, а в 1920 году он поступил в Мюнхенский университет. После окончания университета Гейзенберг был направлен работать ассистентом Макса Борна в Геттингенском университете.

Макс Борн был убежден, что атомный микромир настолько отличается от макромира, описанного классической физикой, что ученым не следует пользоваться при изучении атома привычными понятиями о движении и времени, скорости и определенном положении частиц в пространстве.

Основа микромира – кванты, которые не следовало пытаться понять или объяснить с наглядных позиций классической физики. Эта радикальная философия, специфическое научное мировоззрение нашли заинтересованный горячий отклик в душе молодого ассистента Вернера Гейзенберга.

Состояние атомной физики напоминало в то время какое-то нагромождение гипотез, что не могло не раздражать физиков, особенно теоретиков. Исходить из одних только предположений, что представляет собой атом и электрон, для по-немецки педантичного Гейзенберга было с научной точки зрения некорректно.

У него появилась идея отбросить все домыслы – предположения и создать теорию, основанную только на известных экспериментальных данных об атоме! А что известно? Атом излучает свет! Свет имеет частоту и характеризуется определенной интенсивностью! Пока почти все...

В соответствии с теорией Бора атом испускает свет, переходя из одного энергетического состояния в другое. А по теории Эйнштейна интенсивность света определенной частоты зависит от количества фотонов. Отсюда идея попытаться связать интенсивность излучения с вероятностью атомных переходов из одного энергетического состояния в

другое. Квантовые колебания электронов, по замыслу Гейзенберга, необходимо представить только с помощью *чисто математических соотношений, подтверждаемых опытами!* Возникла проблема в разработке математического аппарата. Гейзенберг остановился на *матричном исчислении*. Этот выбор оказался очень удачным, и достаточно быстро (но не очень-то легко и просто!) теория была создана. *Матричная механика* Гейзенберга заложила основы науки о движении микрочастиц и впоследствии стала называться *квантовой механикой*. Квантовая механика объединила матричную механику Гейзенберга и волновую механику Шредингера! Но это произошло не сразу, события развивались драматически с благоприятным, счастливым для науки концом!

В матричной механике Гейзенберга вообще ничего не говорится ни о каком движении электрона в атоме. В обычном понимании движения электрона в атоме не существует (?!). Матрицы – таблицы описывают просто изменения состояния системы. В таком случае сами собой отпадают спорные вопросы о движении электрона вокруг ядра, о его излучении, а следовательно, об устойчивости атома! Вместо орбиты в матричной механике Гейзенберга электрон характеризуется *набором отдельных чисел!*

Научные идеи Гейзенберга подхватили и другие физики, их поддержал Нильс Бор, по выражению которого матричная механика приобрела «вид, который по своей логической завершенности и общности мог конкурировать с классической механикой».

В сентябре 1926 года между Бором и Шредингером разгорелась «ожесточенная» дискуссия, в результате которой было признано, что никакую из существующих интерпретаций (дискретную или непрерывную) квантовой механики нельзя считать вполне приемлемой.

В феврале 1927 года Гейзенберг «неожиданно» (для других, но не для себя!) дал нужную интерпретацию, сформулировав *принцип неопределенности* и ни чуть не сомневаясь в его правильности!

Согласно этому принципу, одновременное измерение двух так называемых *сопряженных переменных* (например, координаты и импульса частицы), неизбежно приводит к ограничению точности! Чем более точно измерено положение частицы, тем с меньшей точностью можно измерить ее импульс, и наоборот! В предельном случае абсолютно точное определение одной из переменных ведет к полной потере достоверной информации при измерении другой.

Эта неопределенность (потеря точности) не является следствием технического несовершенства измерений или виной экспериментатора. Она является характерным свойством каждого квантового эксперимента и фундаментальным следствием уравнений квантовой механики!

Впервые было провозглашено, что существуют пределы научного познания!

Совместно с идеями таких научных светил, как Нильс Бор и Макс Планк, принцип неопределенности Гейзенберга вошел в логически замкнутую систему «*копенгагенской интерпретации квантовой механики*». Гейзенберг стал профессором теоретической физики Лейпцигского университета. Он стал самым молодым профессором в Германии – ему было всего 25 лет от роду!

Принцип неопределенности Гейзенберга приводит к выводу, что однозначная причинная связь между настоящим и будущим теряется. *На основе законов квантовой механики предсказания имеют вероятностный характер!*

Научные труды Вернера Гейзенберга обрели широкое признание и обеспечили ему высокое положение в обществе и в науке. В 1932 году ему была присуждена Нобелевская премия вместе со Шредингером и Дираком, которые получили ее в 1933 году.

В течение пяти лет в Институте Гейзенберга были созданы важнейшие квантовые теории твердокристаллического состояния, молекулярной структуры, рассеяния излучения на ядрах и протон – нейтронной модели ядер. Совместно с другими теоретиками они сделали огромный шаг в сторону релятивистской квантовой теории поля и заложили основы для развития исследований в области физики высоких энергий.

Несмотря на то, что Вернер Гейзенберг по праву считается одним из величайших физиков, к нему относятся в настоящее время по-разному. Дело в том, что во время Гитлера Гейзенберг занимал высокие посты в академической науке и был символом немецкой культуры. Во время войны он был директором Института физики кайзера Вильгельма и профессором Берлинского университета, возглавлял основные исследования по расщеплению ядер урана, в которых был заинтересован Третий рейх. Гейзенберг, которому удалось проникнуть в тайны природы, не сумел разглядеть и понять глубину трагедии, в которую была ввергнута его родина. Однако членом нацистской партии Гейзенберг никогда не был.

В последние годы Гейзенберг сосредоточил свои усилия на создание единой теории поля. Он проквантовал нелинейное спинорное уравнение Д. Д. Иваненко (уравнение Иваненко-Гейзенберга). Многие его работы были посвящены философским проблемам физики, теории познания. «Шаги за горизонт» Вернер Гейзенберг пытался осуществить, стоя на идеалистических позициях.

*Принцип неопределенности.* Задумываясь над единой современной физической картиной мира, мы все же испытываем какое-то чувство неудовлетворенности, связанное с корпускулярно-волновым дуализмом,

который справедлив в микромире. Возникает вопрос: почему частицы атомных размеров и обычные тела имеют столь различные свойства?

Существует ли такой всеобщий закон, с помощью которого можно преодолеть глубокое различие между макро- и микромиром? Вот такой закон (принцип!) и был действительно установлен Вернером Гейзенбергом.

Обычно понятие неопределенности (неточности) мы связываем с точностью измерений. Любое измерение ограничено определенной точностью. Однако необходимо подчеркнуть, что в принципе неопределенности Гейзенберга речь идет вовсе не о технических проблемах точности измерений. Соотношений  $\Delta X \cdot \Delta P \geq \hbar$  или  $\Delta X \cdot \Delta V \geq \frac{\hbar}{m}$  утверждает, что *неопределенность не удаётся устранить даже в самом идеальном эксперименте!*

Попытаемся пояснить, почему эксперимент не может принципиально дать большей точности, чем позволяет принцип Гейзенберга. Будем считать, что речь идет о положении частицы в пространстве. Чтобы узнать, где она находится, ее надо «осветить». Возможности различия деталей определяются (ограничиваются) длиной волны используемого излучения. Чем длина волны меньше, тем лучше! Но, уменьшив длину волны, мы увеличиваем частоту света, а значит и энергию фотона ( $E = h\nu$ ). «Удар», который испытывает от фотона рассматриваемая частица, лишает нас возможности судить о ее скорости до встречи с фотоном.

Другой пример. Мы ставим на пути электрона узкую щель, пролетев через которую электрон попадает на экран. На экране видна вспышка в точке попадания. С точностью до ширины щели установлено местоположение электрона в момент пролета через щель. Увеличим точность местоположения путем уменьшения размеров щели. Тогда волновые свойства электрона начнут сказываться более резко, и электрон все дальше отклоняется от прямого пути. А это значит, что мы все в большей степени будем терять сведения о компоненте его скорости в плоскости щели.

Еще пример. Допустим речь идет об электроны в атоме. Поскольку размеры атома порядка  $10^{-10}$  м, то желательно точность нахождения электрона в атоме  $10^{-11}$  м. Оценим с помощью принципа неопределенности потерю информации об этом электроны. Для электрона  $\frac{\hbar}{m} = 0.0007 \text{ м}^2/\text{с}$ , тогда  $\Delta X \cdot \Delta V \geq 0.0007 \text{ м}^2/\text{с}$ . При  $\Delta X = 10^{-11}$  м имеем  $\Delta V \geq 7 \cdot 10^7 \text{ м/с}$ , что совершенно бессмысленно, т.е. о скорости электрона ничего определенного сказать нельзя! Если же все-таки попытаться определить скорость в разумных пределах, тогда мы

потеряем информацию о месте, где он находится! Следовательно, *понятие траектории электрона в атоме лишено смысла!*

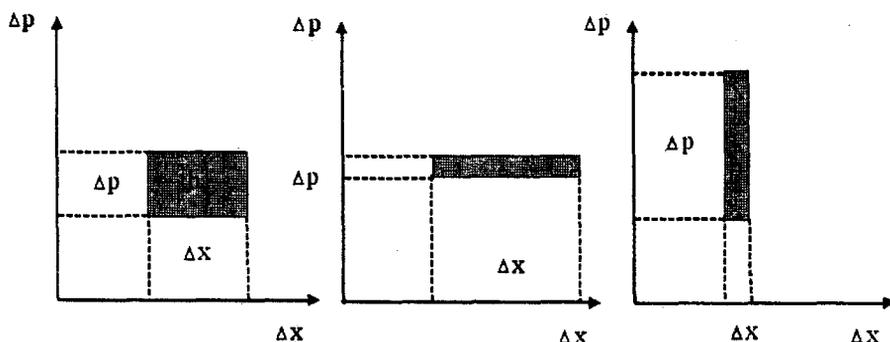
Картина меняется, если мы изучаем движение электрона, скажем, в кинескопе или ионизационной камере. Трек электрона зримый, следовательно, *понятие траектории имеет смысл*. Толщина трека порядка 0,1 мм, следовательно, неопределенность в значении скорости электрона, который пролетает через камеру со скоростью 1 км/с, вполне приемлема  $\Delta V = 7 \text{ м/с} \ll 1000 \text{ м/с}$ .

Нетрудно исследовать и поведение молекулы в газах. Такая молекула ведет себя как «приличная» частица, и траектория ее хаотичного движения имеет определенный смысл.

Невозможно зрительно (образно) представить себе частицу материи. К электрону или протону неприменимы понятия цвета, твердости, температуры... Все эти свойства принадлежат только макротелам. Но если нельзя представить себе порцию материи, то тем более невозможно представить себе ее движение! Движение порции материи совмещает в себе волновой и корпускулярный характер.

Несмотря на фантастический прогресс прикладных наук, несмотря на высокие темпы научно-технического развития, новых законов природы после открытия квантовой теории пока не найдено.

Графическое представление принципа неопределенности Гейзенберга имеет вид:



Площади заштрихованных прямоугольников одинаковы, так как они выражают постоянную Планка  $h$ !

## Макс Борн

**Макс Борн (1882-1970)** по праву считается одним из основателей квантовой механики. Он является автором многих основополагающих работ по квантовой механике, теории строения атома и теории относительности.

Макс родился в г. Бреслау в семье профессора анатомии, его мать была талантливой пианисткой. Таким образом Макс рос в интеллектуальной среде, в атмосфере, благоприятной для его всестороннего развития.

Мальчик собирался стать инженером, но по совету отца прослушал разнообразные университетские курсы и вскоре увлекся математикой и физикой. В 1904 году Макс поступил в Геттингенский университет, где в то время работали талантливые математики Давид Гильберт и Феликс Клейн, а также известный ученый Герман Минковский. После защиты диссертации на степень доктора по теории устойчивости упругих тел его научные интересы претерпели изменения и сместились в область электродинамики и теории относительности.

Макс Борн был призван на военную службу в кавалерийский полк Берлина, но вскоре по состоянию здоровья был демобилизован. Этот жизненный эпизод способствовал формированию неприязненного отношения Борна к милитаризму, которое с годами все укреплялось.

Полгода Макс Борн занимался научными исследованиями в кембриджском университете, где слушал лекции Дж. Дж. Томсона.

Объединив научные идеи Эйнштейна с математическими положениями Минковского, Борн предложил новый упрощенный метод вычисления массы электрона. Эту работу высоко оценил Минковский и пригласил Макса Борна вернуться в Геттингенский университет в качестве его ассистента. Однако вскоре после внезапной кончины Минковского Макс Борн стал лектором университета по теории относительности. Здесь же он занялся исследованиями свойств кристаллов в зависимости теплоемкости атомов. Теория зависимости теплоемкости от температуры до сих пор лежит в основе изучения кристаллических структур.

В 1915 году Макс Борн стал ассистент – профессором у Макса Планка в Берлинском университете. Макс фон Лауэ высказал свое желание поработать с Максом Планком и предложил Макс Борну временно поменяться местами работы, Борн согласился и в 1919 году занял место профессора физики и директора Института теоретической физики во Франкфуртском университете. Через два года Макс Борн возвратился в Геттинген и стал директором университетского физического института. Под руководством Борна этот институт стал ведущим центром теоретической физики и математики. Борн пристально следил за развитием теории атома и был одним из первых, кто придал квантовым идеям Вернера Гейзенберга строгую математическую форму. С 1926 года Борн много размышлял над результатами опытов по дифракции электронов. Идеи де Бройля уже не казались Борну удивительными. Дифракционная картина электронов легко объяснялась с помощью гипотезы о «волнах материи», на этой основе можно было

вычислить их длину, что соответствовало эксперименту. Однако мучил вопрос, *что понимать под «волнами материи»?* Пульсация электрона – шарика? Колебания какой-то среды наподобие эфиру? Или вибрацию чего-то еще более гипотетического, но все-таки материального?

После долгих размышлений Макс Борн пришел к «неожиданному» выводу о том, что *«волны материи» не являются материальными, а представляют собой «волны вероятности».* Они характеризуют вероятность попадания электрона в определенное место макроприбора, т.е. в определенную точку фотопластинки.

Все три условия теории вероятностей выполняются в опытах по рассеиванию электронов, в результате чего всегда получается дифракционная картина:

- Электрон как частица рассеивается независимо от других электронов.

- Электроны в квантовой физике неразличимы, к тому же неразличимы и отдельные акты их рассеяния.

- Точные значения координат и импульсов электронов нельзя задать в принципе, так как это «запрещено» принципом неопределенности Гейзенберга.

В соответствии с изложенным *поиск траектории каждого электрона в отдельности теряет смысл.* Необходимо научиться вычислять вероятность попадания электрона в определенное место, т.е. *вычислить функцию распределения вероятностей попадания.* А чтобы вычислить функцию, описывающую распределение электронов на фотопластинке, необходимо решить уравнение Шредингера. Макс Борн додумался, что *вероятность найти электрон в определенной точке равна квадрату модуля волновой функции Шредингера!*

А как быть с электронами в атомах? Движение отдельных электронов в атоме вовсе не похоже на распространение определенных колебаний, но в целом ненаблюдаемые траектории электронов принадлежат единому ансамблю, который и представляет собой волну вероятности. Причем форму этой волны предопределяют законы квантовой механики. Мы не знаем, в какое место фотопластинки попадет «летающий» электрон, а теперь мы не знаем, в каком месте атома мы его обнаружим в данный момент времени. Как и прежде, мы можем указать только вероятность обнаружения электрона в каком-то определенном месте атома. В одной точке атома эта вероятность больше, в другой – меньше, но *в целом распределение вероятностей образует закономерный «силуэт», который мы и принимаем за форму атома.*

Для электрона в атоме справедливы законы случая и как раз это необходимо учитывать. Для каждого отдельного атома функция распределения плотности вероятности позволяет найти электрон в определенной точке атома. Именно в этом смысле можно поговорить о

вероятностной форме отдельного атома. Эта картина вполне достоверна, поскольку она однозначна для любой совокупности одинаковых атомов!

Психологически на основе так называемого жизненного опыта (а это всегда макроопыт!) нам «уютней» помыслить электрон частицей. Поэтому вероятная природа его волновых свойств в виде волн вероятностей не вызывает у нас произвольно возникающего протеста, когда нам сообщают, что «электрон - это волна».

Образ атома на основе квантовой теории без использования достаточно сложного уравнения Шредингера не дает возможности предсказать ни одного атомного явления. Но этот образ дает возможность много объяснить, если этот *квантомеханический* образ правильно использовать и всегда помнить, как мы его «построили».

Сам термин «квантовая механика», введенный Максом Борном, обозначал новую высокоматематизированную квантовую теорию, которая была создана и развита ее создателями, составившими созвездие великих ученых по сути дела «ровесников» этой новой теории!

Статистическая интерпретация квантовой механики стала называться копенгагенской, поскольку Нильс Борн внес огромный вклад в ее становление вместе со своими учениками и сотрудниками.

Однако ряд основателей квантовой теории не соглашались с «копенгагенской интерпретацией». Борн и Эйнштейн вели длительную полемику по этой проблеме, хотя эти фундаментальные научные расхождения никогда не омрачали их дружбы. Кроме физики, их объединяла любовь к музыке, и они вместе и с удовольствием исполняли сонаты – Эйнштейн на скрипке, Борн на фортепиано.

Макс Борн был чрезвычайно обаятельным человеком. Вместе с тем он был решительным в своей бескомпромиссности, когда видел в чем-то несправедливость. После прихода к власти Гитлера геттингенский научный центр фактически прекратил свою плодотворную деятельность, так как много ведущих профессоров и декан научного центра Макс Борн были отстранены от должностей.

Макс Борн покинул Германию и переехал в Великобританию. Работал в университетах Кембриджа, Эдинбурга, где оставался вплоть до ухода в отставку в 1953 году. Он стал почетным профессором в отставке.

У Макса Борна было много учеников. У него работали физики, ставшие выдающимися учеными: Гейзенберг, Паули, Ферми, Дирак, Вайскопф, Оппенгеймер и другие.

*Макс Борн – великий Учитель!* Его критический талант был настолько тесно соединен с доброжелательностью, что все его ученики и сотрудники чувствовали себя единой большой семьей, главной жизненной целью которой было *познание!*

Личные качества Макса Борна способствовали тому, что в его научной школе объединились люди, которые занимали крайние и

противоположные мировоззренческие позиции. Такое различие в научных мировоззрениях не мешало их научному сотрудничеству аж до тех пор, когда они встали перед необходимостью определить свои политические взгляды в связи с приходом к власти фашистов.

Нобелевская премия Макс Борну была присуждена по физике «за фундаментальные исследования по квантовой механике, особенно за его статистическую интерпретацию волновой функции».

В 1955 году Борн был одним из шестнадцати нобелевских лауреатов, которые выработали заявление, осуждающее дальнейшую разработку и использование ядерного оружия. Эту декларацию впоследствии подписал пятьдесят один нобелевский лауреат!

В 1970 году ушел из жизни человек, имя которого ставят в один ряд с такими именами, как Планк, Эйнштейн, Бор, Гейзенберг, Шредингер и других выдающихся ученых. Имя этого человека – Макс Борн!

## Вольфганг Паули

Вольфганг Паули (1900-1958) родился в Вене, и когда в декабре месяце было произнесено слово «квант», ему было уже семь месяцев. Этот физик – теоретик окончил Мюнхенский университет, работал ассистентом у Макса Борна в Геттингенском университете, а затем в Копенгагенском институте теоретической физики у Нильса Бора.

1923-1928 гг. Паули доцент Гамбургского университета, а затем – профессор Политехникума в Цюрихе. Около десяти лет в разные годы Паули работал в Принстонском институте перспективных исследований (США).

Научные работы Вольфганга Паули относятся ко многим разделам современной теоретической физики, в развитии которых он принимал непосредственное участие, как разработчик или как критик-оппонент. Он причастен к становлению и развитию квантовой механики, квантовой электродинамики, теории относительности, квантовой теории поля, теории твердого тела, ядерной физики, физики элементарных частиц.

Знаменитый *«принцип запрета»* Паули сыграл исключительно важную роль в квантовой физике и сегодня остается одним из *фундаментальных* принципов. Первая формулировка этого принципа была представлена в статье «О связи заполнения атомных оболочек в атоме со сложным строением атомов». Формулировка имела такой вид: «В атоме не может существовать двух или больше эквивалентных электронов, для которых значение всех квантовых чисел в магнитном поле одинаково». Если в атоме находится электрон, для которого все эти числа имеют определенное значение, то это состояние *занято* (слово «занято» Паули подчеркнул).

Кроме своего знаменитого принципа запрета Паули «оставил свои следы» в решении многих научных проблем. Работая у Бора в Копенгагене, он задумался о связях электронной теории со статистикой, что привело его к мысли заняться исследованиями поведения электронов в конденсированных средах. В 1927 году Вольфганг Паули вместе с Энрико Ферми разработал теорию сильно вырожденного электронного газа в металлах. В 1929 году вместе с Вернером Гейзенбергом он сформулировал первый вариант квантовой электродинамики (схему квантования полей). В 1931 году Паули предложил *гипотезу нейтрино* для того, чтобы объяснить превращение частиц (протонов и нейтронов) друг в друга.

Известно, что многие известные физики, в том числе и Вольфганг Паули, сначала не приняли научную идею о необходимости введения понятия «*спин*» электрона. Причем больше всех противился этой идее именно Паули. Он встретил на гамбургском вокзале Нильса Бора, когда тот ехал из Копенгагена в Лейден, и строго-настрого предостерег его против гипотезы спина. После возвращения Бора из Лейдена Паули встретил его в Берлине, выразил в резких словах разочарование по поводу его отступничества и высказал сожаление, что в атомной физике возникает новая «ересь».

Из писем Паули в Бору и из его Нобелевской лекции мы можем заключить, что основное возражение против гипотезы спина сводилось к тому, что эта гипотеза о вращающемся электроне – волчке носила *классический характер*, а расчеты на основе этой гипотезы приводили к противоречию с теорией относительности.

Интуиция Паули подсказывала ему, что «двузначность электрона» является типично квантовым эффектом, который нельзя описывать на языке классической механики.

Однако когда 22-летний Левелин Хиллет Томас, корректно пользуясь методами релятивистской механики, получил непротиворечивые с опытом результаты, Паули в марте 1926 года согласился с идеей спина. В Нобелевской лекции он писал:

«Хотя сначала я сильно сомневался в этой идее ввиду ее классического характера, но в конце концов же стал ее сторонником, после того как Томас вычислил величину дуплетного расщепления. С другой стороны, мои прежние сомнения, а также осторожное выражение «двузначность, не поддающаяся классическому описанию», в дальнейшем получили известное подтверждение, так как Бор показал с помощью волновой механики, что спин электрона нельзя измерить в классически описываемых опытах»...

Принцип Паули был «увенчан» Нобелевской премией в 1945 году. Паули награжден медалями: Х. Лоренца (1930 г.), Б. Франклина (1952 г.), М. Планка (1958 г.) и др. К 60-летию Вольфганга Паули был подготовлен

специальный сборник, который называется «Теоретическая физика XX века». В этот сборник вошли многие работы юбиляра, а также научные труды других крупнейших ученых современности. Накануне своего юбилея Вольфганг Паули ушел из жизни. Этот научный сборник явился, по сути дела, своеобразной эпитафией великому ученому – физику. 14 декабря Вольфганг Паули скончался, а ведь именно 14 декабря 1900 года Макс Планк доложил Берлинскому физическому обществу о своей гипотезе и новой формуле излучения, которая ознаменовала рождение квантовой теории, совершившей подлинную революцию в физике.

Один из создателей квантовой теории – Вольфганг Паули, которому в этот знаменательный день было 7 месяцев и 19 дней!

## Поль Дирак

**Поль Андриен Морис Дирак (1902-1984)** родился в английском городе Бристоле. История рода Дирака связана со Швейцарией, откуда отец Поля Дирака эмигрировал в Англию, где зарабатывал на жизнь преподаванием французского языка. Французский язык отец Поля считал своим родным языком и настаивал на том, чтобы в его доме говорили именно на этом языке.

Отец заботился об образовании сына. Он определил его в свое учебное заведение, которое было своеобразной школой торговых предпринимателей, соединенной с техническим колледжем.

Сам Поль Дирак так рассказывает об этом учебном заведении: «MV была великолепной школой естественных наук и современных языков... Я был очень счастлив, что могу посещать эту школу. В MV я учился с 1914 по 1918 год, как раз во время первой мировой войны. Многие парни покинули школу ради служения нации. В результате старшие классы совсем опустели. Чтобы заполнить пробел, стали продвигать младших в той степени, в которой они могли справиться с более сложной работой. Мне это было выгодно: я быстро «проскочил» младшие классы и в очень раннем возрасте познакомился с основами математики, физики, химии на вполне высоком уровне. Математику я учил по книгам, которые, как правило, содержали больше, чем знал класс. Быстрое продвижение вперед способствовало дальнейшим моим успехам. Но это мешало моему участию в спортивных играх, происходивших по средам во второй половине дня. Я играл в футбол и крикет, остальные участники игр были старше и сильнее меня, и мне не сопутствовала удача... Однако в школе ценили мою преданность науке. Очень полезно было и то, что школа располагалась в одном здании с техническим колледжем. Занятия в колледже проходили по вечерам, после того, как кончались занятия в школе. Колледж обладал великолепными аудиториями, которые днем были открыты для школы. Кроме того, некоторые сотрудники школы

совмещали преподавание в школе днем с преподаванием в колледже вечером».

В 1918 году Поль Дирак становится студентом электротехнического факультета Бристольского университета, который помещался в том же здании, где располагалась школа. В 1921 году он закончил университет «с отличием». Но способности к технике не достаточно высоко оценены, и Дираку не удалось найти работу инженерно-технического профиля.

В это время Поль Дирак впервые познакомился с теорией относительности, которую в университете читал профессор философии. В связи с интересом к теории относительности Поль Дирак серьезно увлекся математикой и сделал попытку поступить в Кембриджский университет. Но стипендию он получить не смог, а поэтому вернулся в Бристоль, где ему разрешили слушать лекции неофициально, без оплаты за обучение.

Преподавателем математики был неизвестный ученому миру Петер Фрезер, который был *настоящим педагогом*. Он прививал своим студентам понимание красоты математики и ее логической стройности. Занятия Фрезера глубоко запали в душу Поля Дирака.

Через два года, получив небольшую стипендию, Поль Дирак стал аспирантом в Кембридже. Это произошло в 1923 году, который стал отправной точкой в рождении гения.

Уже через полгода Поль Дирак напечатал свои первые две работы по статистической механике. А еще через два года (1925 год!) появляется его фундаментальная работа со знаменитым *релятивистским волновым уравнением*, которое теперь носит его имя.

В свое время, после окончания электротехнического факультета Бристольского университета фирма, в которой он прошел инженерную практику, не проявила к нему профессионального интереса.

Теперь же превращение не очень удачливого инженера в крупнейшего ученого выглядело чудом. Однако это «чудо» имеет вполне оправданное объяснение. Условия воспитания в детстве, вполне своеобразная учеба в Бристоле (в школе и в университете) получили закономерное и органичное завершение в Кембридже. Если бы не Кембридж, как знать, может ни в одном месте способности и возможности Дирака не реализовались бы с такой полнотой и блеском!

В 20-е годы в Кембридже работали «виртуозные» математические физики и астрофизики, блистательные «звезды естествознания». Здесь всегда знали все, что происходит во всех лабораториях мира. Практически все видные физики Европы и США приезжали в Кембридж поделиться результатами своих поисков и исследований. Эту научную атмосферу сотрудничества жадно впитывает Поль Дирак.

Разные бывают люди на свете. Смелые путешественники открывали материки, добирались до полюсов Земли. Выдающиеся полководцы гениально выигрывали сражения, которые влияли на историю развития стран и человечества. Описания этих событий «захватывают дух».

Но есть люди, которые самоотверженно изучают природу. Их труд почти всегда не заметен для миллионов людей, а потому оценить труд естествоиспытателей, их упорство и героизм, их гениальность нелегко. Это относится и к одному из самых замечательных людей XX века Полло Дираку. Его внешне спокойная жизнь полна не менее интересных приключений, чем жизнь искателей сокровищ. Только эти приключения скрыты от непосвященных, и лишь люди, профессионально занимающиеся физикой, знают, сколь драматичны бывают события и сколь труден бывает путь к триумфу!

Настоящая слава пришла к Полло Дираку в 30 лет. Он был одним из тех, кто создавал *квантовую физику*, начало которой было очень абстрактным. Сейчас же ее многочисленные практические приложения настолько конкретны, что лежат в основе научно-технического прогресса!

Каждый из создателей квантовой физики думал и работал посвоему. Особенно выделялся своим пониманием физики Поль Дирак.

Вот один из примеров. Дирак предположил, что все электроны Вселенной занимают уровни с отрицательной энергией и, согласно принципу Паули, образуют ненаблюдаемый фон. Наблюдаемы только электроны с положительной энергией. «Послушаем» самого Дирака: «Электроны распределены по всему миру с большой плотностью в каждой точке. Совершенная пустота есть та область, где все состояния с отрицательной энергией заняты... Незаполненные состояния с отрицательной энергией представляют как нечто с положительной энергией, потому что для того, чтобы они исчезли, необходимо внести туда один электрон с отрицательной энергией. Мы предполагаем, что эти незанятые состояния с отрицательной энергией суть протоны».

Теория Дирака была встречена и воспринята довольно скептически. Но сам Дирак оценивал свою теорию оптимистически, так как она «была очень симметрична по отношению к электронам и протонам».

Но ведь протон отличается от электрона не только знаком электрического заряда, но и массой. *Открытие позитрона*, частицы действительно симметричной электрону, заставило по-новому оценить теорию Дирака, которая по существу предсказала существование позитрона и других античастиц! На Ленинградской научной конференции в 1933 году Поль Дирак изложил сущность теории позитрона: «Допустим, что в том мире, который мы знаем, почти все электронные состояния с отрицательной энергией заняты электронами.

Эта совокупность электронов, сидящих на отрицательных уровнях энергии, вследствие своей однородности не может восприниматься нашими чувствами и измерительными приборами, и только лишь незанятые электронами уровни, являясь чем-то исключительным, каким-то нарушением однородности, могут быть замечены нами совершенно таким же образом, как мы замечаем занятые состояния электронов с положительными энергиями. Незанятые состояния с отрицательной энергией, т.е. «дырки» в распределении электронов с отрицательной энергией будут восприниматься нами как частица с положительной энергией; ведь отсутствие отрицательной кинетической энергии равносильно присутствию положительной кинетической энергии, так как минус на минус дает плюс... Представляется разумным отождествить такую «дырку» с позитроном, т.е. утверждать, что позитрон есть «дырка» в распределении электронов с отрицательной энергией». Согласно теории Дирака положительный электрон при столкновении со свободным или слабо связанным отрицательным электроном может исчезать, образуя два фотона, испускаемых в противоположных направлениях. Существует и обратный процесс – «материализация» фотонов, когда «фотоны с достаточно большой энергией при столкновении с тяжелыми ядрами могут создавать положительные электроны... Фотон, взаимодействуя с ядрами, может создавать два электрона с противоположными зарядами» - так писал Фредерик Жолио-Кюри о теории Дирака.

*Антиэлектрон-позитрон*, теоретически предсказанный Дираком, был экспериментально открыт в 1932 году Карлом Андерсеном. Существование антипротона было подтверждено в 1955 году Оуэном Чемберленом.

Позднее Дирак открыл *статистическое распределение энергии в системе электронов*, известное теперь под названием *статистики Ферми-Дирака*. Эта фундаментальная работа имела большое значение для теоретического осмысления электрических свойств металлов и полупроводников.

Поль Дирак и Эрвин Шредингер получили Нобелевскую премию по физике 1933 года «за открытие новых продуктивных форм атомной теории».

Поль Дирак – почетный член ряда академий наук и научных обществ. Он награжден Королевской медалью (1939 г.), медалью Копли (1952 г), получил премию Р. Оппенгеймера, награжден орденом Великобритании «За заслуги». С 1961 года Дирак – член Папской академии наук.

Мысли и работы Дирака отмечены удивительной красотой! Его книга «Воспоминание о необычайной эпохе» - яркое свидетельство

необыкновенности этого гения, полное имя которого Поль Андриен Морис Дирак!

## Энрико Ферми

Энрико Ферми (1901-1954) родился в Риме в семье железнодорожного служащего и учительницы. Когда 42-летний ординарный профессор Макс Планк впервые произнес слово «квант» энергии, Энрико еще не было на свете. Он явиться миру только через 9 месяцев и 15 дней!

«Великий итальянский физик Энрико Ферми занимает особое место среди современных ученых: в наше время, когда узкая специализация в научных исследованиях стала типичной, трудно указать столь же универсального физика, которым был Ферми. Можно даже сказать, что появление на ученой арене XX века человека, который внес такой громадный вклад в развитие теоретической физики, и экспериментальной физики, и астрономии, и технической физики, - явление скорее уникальное, чем редкое», - так писал о Ферми Бруно Понтекорво.

Еще в детстве Энрико обнаружил необычайно большие способности к математике и физике. Его познания в этих науках, приобретенные в основном в результате *самообразования*, позволили ему получить в 1918 году стипендию и поступить в Высшую нормальную школу при Пизанском университете. Затем, по протекции доцента Физического института Римского университета сенатора Корбино, Энрико получил временную должность преподавателя математики для химиков в Римском университете.

Еще будучи студентом, Энрико Ферми стремился познать новые области физики, касающиеся строения материи и квантовой теории. Но эти разделы в Италии в университетах не читались. Что касается классической физики и теории относительности, то их он знал в студенческие годы так же, как и уже будучи знаменитым ученым. «Поскольку для курсов мне почти ничего не надо делать, я пытаюсь расширить мои знания по математической физике и буду делать то же самое в области математики, ведь я располагаю множеством книг», - писал Ферми еще в 1919 году.

За два студенческих года были проработаны книги «Теория вихрей» Пуанкаре, «Аналитическая механика» Аппеля, «Электронная теория материи» Ричардсона, «Пространство, время, материя» Вейля, «Строение атома и спектры» Зоммерфельда и другие достаточно серьезные книги. Энрико Ферми владел иностранными языками: немецким, французским, английским.

«Его метод изучения книги всегда состоял в том, что из книги он брал только затрагиваемые проблемы и результаты опыта, сам

обрабатывал их и затем сравнивал свои результаты с результатами автора. Иногда при проведении такой работы он ставил новые проблемы и решал их... Так и возникли его первые печатные работы» - вспоминал хорошо знавший Энрико в студенческие годы Персико.

В начале 1923 года 21-летний Энрико Ферми по направлению Министерства образования Италии уезжает для усовершенствования в области научных исследований в Геттинген к Макс Бору. Здесь Ферми выполнил самостоятельно ряд научных работ. Одна из этих работ по теоретической механике очень понравилась Паулю Эренфесту, который написал об этом Ферми. Это способствует тому, что Ферми переезжает в Лейден и обучается у Эренфеста, в то время уже известного физика-теоретика. Именно под влиянием Эренфеста Энрико Ферми приобретает уверенность в своих силах. У него появляются характерные черты серьезного научного исследователя: стремление к конкретности во всем, умение выделять главное, исключительный здравый смысл. Почти все теоретические исследования Ферми осуществляет для того, чтобы объяснить поведение определенной экспериментальной кривой, «странность» какого-либо экспериментального факта.

В 1925-1926 г. Ферми работает временным профессором во Флоренции, читает лекции по теоретической механике и математической физике. Здесь он получает ученую степень «свободного доцента», создает знаменитую работу по *квантовой статистике* и пишет великолепную книгу «Введение в атомную физику», которая позднее стала основным учебником по теоретической физике для студентов университетов.

Осенью 1926 года в Римском университете специально для Ферми создается кафедра теоретической физики, названная шутниками кафедрой «Фермифизики». 25-летний Энрико Ферми успешно выдерживает конкурс и занимает должность профессора столичного университета, проработав в нем аж до 1938 года.

Лекции профессора Ферми по квантовой механике, атомной физике, математической физике, термодинамике, геофизике отличались *исключительной ясностью и стройностью изложения*. В физике, как считал Ферми, не должно быть места для путаных мыслей, а физическая сущность любого, действительно понимаемого вопроса может быть объяснена без помощи сложных математических выражений. Все это Ферми прекрасно иллюстрировал своими собственными работами и своим *научно-педагогическим стилем*.

«Метод работы Ферми над теоретическими проблемами больше всего поражали меня своей простотой. Он мог проникнуть в существо любой задачи, какой бы сложной она ни казалась. Он срывал с нее покров математических усложнений и ненужного формализма. С помощью такого метода он, мог часто не более чем за полчаса, решить

весьма сложную физическую задачу. Он был мастером получения важных результатов минимальными усилиями и простейшим математическим аппаратом», вспоминал физик-теоретик Ханс Бете, который был моложе Ферми на 5 лет.

Интенсивная научная деятельность Ферми в период с 1926 года по 1933 год проходила, в основном, по трем главным направлениям.

*Во-первых*, Ферми успешно развивал квантовую механику, объяснял и пропагандировал ее в научных кругах Италии.

*Во-вторых*, Ферми проводил теоретические исследования в области статистической механики достаточно результативно с впечатляющими итогами.

*В-третьих*, своими теоретическими работами Ферми внес большой вклад в учение о структуре атомов и молекул, что позволило ему издать книгу. «Молекулы и кристаллы».

*Ферми – ученый и Ферми – человек были неразделимы!* Он учил студентов и своих учеников-исследователей не только физике, но и *страстной любви к ней, пониманию духа этой науки.* Он всегда подчеркивал высокую *моральную ответственность ученого* за опубликованные работы, был нетерпим к стремлению некоторых ученых завышать точность своих измерений (не повышать точность, а именно завышать), неукоснительно придерживался мнения, *что искать новое надо только тогда, когда исчерпаны все возможности старого.*

После 1933 года Ферми целиком погружается в проблемы *ядерной физики.* Он создает *теорию бета-распада* (1934 год), которая легла в основу теории взаимодействия элементарных частиц.

Сразу же после открытия искусственной радиоактивности «только у Ферми хватило ума выбрать оригинальное направление, оказавшееся на редкость плодотворным», – такой вывод сделал Отто Фриш по поводу идеи Ферми *использовать нейтроны в качестве «снарядов» для бомбардировки ядер.*

Работа группы Ферми получила очень высокую оценку в научном мире. Это было начало так называемой «нейтронной физики».

За серию работ по получению радиоактивных элементов путем нейтронной бомбардировки за открытие ядерных реакций под действием медленных нейтронов в 1938 году Энрико Ферми была присуждена *Нобелевская премия!* Выехав за ее получением в Стокгольм вместе с семьей, Ферми уже не вернулся в Италию, где фашистская диктатура Муссолини «правила бал».

В США был создан Манхэттенский проект для работ по созданию атомной бомбы; ответственность за исследование цепной реакции и получение плутония была возложена на Ферми. «Было ясно, - писал в последствии Джон Кокрофт, - что Ферми открыл дверь в атомный век».

Человек выдающегося интеллекта и безграничной энергии, великий Ферми был отличным семьянином и во всех отношениях доброжелательным в общении. Он увлекался альпинизмом, зимними видами спорта (уроженец Италии ?!) и теннисом.

Энрико Ферми умер в ноябре месяце 1954 года от рака желудка в возрасте всего лишь 53 лет. Трудно представить, что мог бы сделать еще этот *поистине великий физик*, если бы прожил еще пару десятков лет! По словам Бруно Понтекорво, если бы открытия, которые сделал Энрико Ферми, сделали разные ученые, мы бы имели еще 6-8 Нобелевских лауреатов!

В 1955 году был открыт новый, сотый химический элемент, который был назван в честь выдающегося ученого-физика *фермием*!

## Очеловеченные события в кратком изложении... Как это было ?

1. «Неосознаваемые» квантовые предпосылки – физика «до Планка» или классическая физика.

В развитии квантовой физики огромную роль сыграли некоторые экспериментальные открытия, сделанные в XIX веке. Первое – это чрезвычайно важные законы электролиза Фарадея. Из этих законов, как следствие, вытекал «атомизм» электрического заряда, хотя это и не всем было ясно.

Формула  $F = N_A \cdot e$  стала, по сути дела, первой формулой, связывающей между собой только универсальные константы:  $F$  - число Фарадея,  $N_A$  - число Авогадро,  $e$  - заряд одновалентного иона.

Второй была формула совсем из другой области, а именно  $S = k \ln P$ , где  $k$  - константа Больцмана, которая была введена в молекулярной физике:  $k = \frac{R}{N_A}$ , здесь  $R$  - универсальная газовая постоянная.

Важнейшим открытием, в преддверии возникновения квантовой физики, следует считать открытие рентгеновских лучей в 1895 году.

Вильгельм Конрад Рентген (1845-1923) был первым Нобелевским лауреатом по физике (1901 год). Помимо Нобелевской премии он был удостоен многих наград, в том числе медали Румфорда Лондонского королевского общества, золотой медали Бернарда за выдающиеся заслуги перед наукой; он состоял почетным членом научных обществ многих стран. Открытие рентгеновских лучей имело колоссальное значение для плодотворного развития физики. «Рентген был большой и цельный человек в науке и жизни. Вся его личность, его деятельность и научная методология принадлежали прошлому. Но только на фундаменте, созданном физиками XIX века и, в частности, Рентгеном, могла появиться современная физика», – Абрам Федорович Иоффе знал, что говорил!

В 1896 году Антуан Анри Беккерель (1852-1908) обнаружил радиоактивность, ограничившись при этом простой констатацией факта. Вместе с супругами Кюри он получил за это Нобелевскую премию 1903 года.

Природу катодных лучей подробно исследовал Джозеф Джон Томсон и в 1897 году пришел к открытию электрона. Сам термин «электрон» был введен еще в 1891 году Джонстоном Стонеем для постулированного элементарного электрического заряда.

На базе работ Дж. Дж. Томсона голландский физик *Хедрик Антон Лоренц* (1853-1928) создал к концу девятых годов классическую электронную теорию, которая представляла собой применение теории Максвелла к исследованию движений микрочастиц. По сути дела он перенес систему уравнений Максвелла на заряженные частицы.

Среди важнейших достижений доквантовой физики необходимо отметить предложенную двумя однофамильцами *модель атома*. Это модель Томсонов (Дж.Дж. – 1902 год и Вильяма Томсона – лорда Кельвина – 1904 год).

На рубеже XX века великий «Джи-Джи» произнес речь, посвященную началу нового века в физике. Он считал физику практически завершенной наукой. Правда, он отметил, что обнаружилось «небольшое облако на ясном небосклоне». Это опыт Майкельсона и Морли, из которого следовало отсутствие «эфирного ветра», и трудности с электронной теплопроводностью металлов. К этим фактам добавим еще один – явные трудности с теорией излучения абсолютно черного тела. Складывается такое впечатление, что до Макса Планка подлинную значимость проблемы излучения АЧТ мало кто (а может быть и никто?) отчетливо понимал, хотя в этой области работали многие видные ученые!

2. *Квантовая физика – физика XX века или современная физика.* Содержание этого пункта авторы взяли из замечательной книги Л. И. Пономарева «Под знаком кванта» (люди, события, кванты).

Результаты науки не зависят от психологии или желаний отдельных людей, в этой объективности – ее сила и ценность. Но наука – дело человеческое, и оттого ее история – это не только накопление новых фактов, создание и уточнение физических понятий и математических методов, но также история человеческих судеб. Рядом с их открытиями любая подробность жизни ученых выглядит значительной: мы всегда стремимся понять, как та или иная мелочь, из которых складывается повседневная жизнь и великих людей, повлияла на дела, их обессмертившие

Квантовая физика родилась в лоне европейской культуры, а люди, ее создавшие, – лучшие ее представители. Эйнштейн, Бор, Гейзенберг, Эренфест, Лауэ были превосходными музыкантами, а Планк даже читал в университете лекции по теории музыки и в юности намеревался стать профессиональным пианистом. (Он руководил также хором, в котором пел молодой Отто Ган, тридцать лет спустя открывший деление урана).

Гейзенберг, Паули, Лауэ, Шредингер владели древними языками, Луи де Бройль – по профессии историк, а Шредингер был глубоким знатоком философии и религии, особенно индийской, писал стихи и в конце жизни издал свой поэтический сборник.

Даже в научной переписке Планк и Зоммерфельд обменивались стихами.

История создания квантовой механики сохранила несколько живых воспоминаний, которые помогают представить ту обстановку напряжений и подъема, в которой люди разных национальностей, возрастов и темпераментов всего за три года построили современное здание вантовой механики.

Быть может все началось в тот день, когда Зоммерфельд вошел в комнату, где занимался второкурсник Гейзенберг, запретил ему играть в шахматы, дал в руки фотопластинку с фотографией спектра излучения атома в магнитном поле и предложил найти закономерности в расположении спектральных линий. А может - тремя годами позже, в июне 1922 года, во время длительной прогулки Гейзенберга и Бора, который по приглашению Геттингенского университета читал там цикл лекций по квантовой теории. Или, наконец, в конце мая 1925 года, когда ассистент Вернер Гейзенберг заболел сенной лихорадкой и по совету своего тогдашнего руководителя Макса Борна уехал отдыхать на остров Гельголанд в Северном море. Там он проделал свои знаменитые вычисления и пережил редкий душевный подъем, о чем в последствии рассказывал: «Наконец настал вечер, когда я смог приступить к вычислению энергии отдельных членов в энергетической таблице или, как говорят сегодня, в матрице энергии. Возбуждение, охватившее меня, ... мешало сосредоточиться, и я начал делать в вычислениях ошибку за ошибкой.

Окончательный результат удалось получить лишь к трем ночи. В первый момент я испугался ... При мысли, что я стал обладателем всех этих сокровищ – изящных математических структур, которые природа открыла передо мной, - у меня захватывало дух. О том, чтобы заснуть, нечего было и думать. Начало уже светать. Я вышел из дому и отправился к южной оконечности острова, где в море выдавалась одиноко стоящая скала... Без особого труда одолев высоту, я дождался восхода солнца на ее вершине».

Уже 5 июня, по возвращении из отпуска, он написал о своих вычислениях Кронигу, 24 июня – подробное письмо Паули, а набросок статьи отдал Макс Борну с просьбой поступить с ней по его усмотрению. Борн одобрил его идею, и 29 июня статья Гейзенберга «О квантовотеоретическом истолковании кинетических и механических соотношений» поступила в редакцию журнала. Сам Гейзенберг, по-видимому, не сразу осознал значение своей работы, поскольку, выступая 28 июля по приглашению «клуба Капицы» в Кембридже, он избрал для доклада другую тему: «О терм-зоологии и Зеэман-ботанике».

Макс Борн продолжал упорно думать о смысле работы своего ассистента. «Гейзенберговское правило умножения, - вспоминал он в

своей нобелевской речи, - не давало мне покоя, и через восемь дней интенсивных размышлений и проверок в моей памяти воскресла алгебраическая теория, которой учил меня профессор Розанес в Бреслау... Я никогда не забуду того глубокого волнения, которое я пережил, когда мне удалось сконцентрировать идеи Гейзенберга о квантовых условиях в виде таинственных уравнениях  $pq - qp = \frac{h}{2\pi i}$ ».

Как раз в это время Борн по пути в Ганновер поделился в поезде трудностями нового исчисления с коллегой из Геттингена. По воле случая или прихоти судьбы в том же купе ехал недавний студент Паскуаль Йордан – один из немногих людей, знавший в то время матричное исчисление, поскольку именно он помогал Рихарду Куранту готовить к печати вышедший в 1924 году знаменитый курс «Методы математической физики» Куранта и Гильберта. На вокзале в Ганновере Йордан представился Борну и предложил свою помощь. Это было как нельзя более кстати, поскольку Паули сотрудничать с Борном отказался и советовал ему вообще не вмешиваться в развитие событий, искренне считая, что новая наука – это «Knabenphysik», физика для мальчиков (Борну в то время было 42 года – слишком много, по мнению Паули). Борн и Йордан завершили свою статью к осени, вскоре к ним присоединился Гейзенберг, и совместно они дали первое последовательное изложение матричной механике (16 ноября 1925 года их статья «О квантовой механике» поступила в редакцию журнала).

Чуть раньше, 7 ноября того же года, в редакцию поступила статья Дирака «Основные уравнения квантовой механики», в которой он предложил свое математическое оформление идей Гейзенберга. По образованию Дирак был инженером-электриком, но в годы послевоенной депрессии он не нашел работы по специальности и решил продолжить образование в Кембридже под руководством Фаулера, от которого он и узнал о статье Гейзенберга, после того как в сентябре 1925 года Фаулер получил ее гранки от Борна.

Той же осенью Борн уехал в длительную командировку в Америку и во время пребывания там зимой 1926 года совместно с Норбертом Винером – будущим создателем кибернетики – ввел одно из самых важных понятий квантовой механики – понятие *оператора физической величины*, который, в частности, может быть представлен и матрицей, как в схеме Гейзенберга.

Той же зимой Вольфганг Паули с помощью матричной механики нашел энергии уровней атома водорода и показал, что они совпадают с энергиями стационарных состояний в модели атома Бора.

Годом раньше, 29 ноября 1924 года, Луи де Бройль защитил диссертацию «Исследования по теории квантов». В 1910 году он получил в Сорбонне звание лицензиата литературы по разделу истории, однако под влиянием брата, лекций Ланжевена по теории относительности и

чтении книг Пуанкаре «Наука и гипотеза», «Ценность науки» он со всем пылом юности отдался изучению физики.

Брат Луи де Бройля Морис был признанным специалистом в физике рентгеновских лучей и много думал над их природой. Он был согласен с Уильямом Брэггом, который еще в 1912 году, сразу после открытия Лауэ и за 10 лет до опыта Комптона, писал: «Проблема теперь состоит не в том, чтобы выбрать между двумя теориями рентгеновских лучей, а в том, чтобы найти... одну теорию, обладающую возможностями обеих». В 1963 году Луи де Бройль вспоминал: «Мой брат считал рентгеновские лучи некой комбинацией волны и частицы, но, не будучи теоретиком, не имел особенно четких представлений об этом предмете... Он настойчиво обращал мое внимание на важность и несомненную реальность дуальных аспектов волны и частоты. Эти долгие беседы ... помогли мне глубоко понять необходимость обязательной связи волновой и корпускулярной точек зрения».

Уже в своей первой статье 1923 года Луи де Бройль высказал предположение, что «пучок электронов, проходящий через достаточно узкое отверстие, также должен обнаруживать способность к интерференции». Тогда на это замечание никто из серьезных экспериментаторов внимания не обратил, хотя уже в то время был известен эксперимент Дэвиссона и Кансмана, а также опыты Карла Рамзауэра (1879-1955) и Джон Таунсенда (1868-1957), из которых следовало, что электроны, проходя через газы при определенных энергиях, почти не рассеиваются – явление, аналогичное эффектам просветленной оптики и противоположное резонансному поглощению, наблюдаемому в опыте Франка и Герца.

Поль Ланжевен, руководитель диссертации де Бройля, относился к его идеям сдержанно, но доброжелательно. В апреле 1924 года он сообщил их участникам IV Сольвеевского конгресса, а в декабре послал диссертацию на отзыв Эйнштейну, который в свою очередь горячо советовал Макс Борну: «Прочитаете ее! Хотя и кажется, что ее писал сумасшедший, написана она солидно». В дальнейшем Эйнштейн сочувственно цитировал ее в своих работах, и Шредингер впоследствии благодарил его за то, что он его вовремя «щелкнул по носу, указав на важность идей де Бройля».

Не все приняли идею о волнах материи столь же благосклонно. Планк вспоминал впоследствии, что, услышав от Крамерса на одном из семинаров о работе де Бройля, он «только покачал головой», а присутствовавший при этом Лоренц сказал: «Эти молодые люди считают, что отбрасывать старые понятия в физике чрезвычайно легко!»

В начале 1925 года Макс Борн обсуждал эти идеи со своим близким другом и коллегой по Геттингенскому университету Джеймсом Франком. При обсуждении присутствовал студент Борна Вальтер Эльзассер,

который тут же предложил провести эксперимент по дифракции электронов. «Это необязательно, - ответил Франк, - эксперименты Дэвиссона уже установили наличие наблюдаемого эффекта» (сам Дэвиссон так не считал и вряд ли хорошо был знаком с идеей де Бройля). Вальтер Эльзассер после этих дискуссий написал короткую заметку, в которой объяснял результаты опытов Дэвиссона и Кансмана, а также эффект Ромзауэра – Таунсенда с помощью представлений о волнах материи.

Заметка Эльзассера была напечатана в июле 1925 года, еще до направления в печать первой работы Гейзенберга, но на нее мало кто обратил тогда внимание: вскоре большинство увлеклось новой матричной механикой.

Эрвину Шредингеру в 1925 году было уже 38 лет, и он не так просто поддавался моде и увлечениям. Подобно Гейзенбергу, он окончил классическую гимназию, где основными предметами были латынь и греческий, а по складу ума он был поэтом и мыслителем. К сожалению, Шредингер не оставил после себя, подобно Гейзенбергу, живых воспоминаний об эпохе «Sturm und Drang» квантовой механики. Быть может, потому, что свои главные открытия он сделал в зрелые годы, когда юношеский пыл действия сменяется спокойной мудростью знания, а ликование первооткрывателя сменяется пониманием относительной ценности всего сущего.

О своем тогдашнем впечатлении от теории Гейзенберга – Борна – Йордана Шредингер впоследствии вспоминал: «...меня отпугивали, если не сказать отталкивали, казавшиеся мне очень трудными методы трансцендентной алгебры и отсутствие всякой наглядности». Взгляды де Бройля были ему явно ближе, и тут же представился случай изучить их более пристально: в конце 1925 года Петер Дебай, которого он сменил на кафедре физики в Цюрихском университете, попросил рассказать о работах де Бройля аспирантам знаменитого Цюрихского политехникума. Вскоре после этого появилась первая статья из серии работ Шредингера «Квантование как проблема собственных значений» (она поступила в редакцию 27 января 1926 года, примерно в то же время, когда Борн и Винер ввели понятие оператора, а Паули с помощью матричной механики нашел спектр атома водорода). 21 июня 1926 года Шредингер отправил в редакцию еще одну шестую статью серии, а уже 25 июня Борн направил в печать сообщение, в котором предлагалась статистическая интерпретация волновой функции. Тем самым построение основ волновой квантовой механики было, по существу, закончено.

Через много лет Макс Борн, говоря об этих работах Шредингера, воскликнет: «Что есть более выдающееся в теоретической физике?», а Макс Планк добавит: «Уравнение Шредингера в современной физике

занимает такое же место, какое в классической механике занимают уравнения найденные Ньютоном, Лагранжем и Гамильтоном». Но в то время теоретики встретили волновую механику настороженно, поскольку в ней явно отсутствовали квантовые скачки – то, к чему лишь недавно и с большим трудом привыкли и что считалось главной особенностью атомных явлений.

В июне 1926 года Гейзенберг приехал в Мюнхен навестить родителей и «пришел в совершенное отчаяние», услышав на одном из семинаров доклад Эрвина Шредингера и его интерпретации квантовой механики. «Чем больше я размышляю над физической стороной теории Шредингера, тем ужаснее она мне кажется», – писал он Паули.

Зато экспериментаторы (Вильгельм Вин и другие), которые называли теорию Гейзенберга «атомистикой» (то есть мистикой атома), приветствовали теорию Шредингера с воодушевлением. (Вин к тому же, без сомнения, не забыл, как Гейзенберг провалил ему выпускной экзамен по экспериментальной физике).

Споры о волновой механике продолжались часами и днями и достигли предельной остроты в сентябре 1926 года, когда Шредингер приехал по приглашению Бора в Копенгаген.

Шредингер настолько устал от дискуссий, что даже заболел и несколько дней провел в доме Бора, который в течение всей болезни почти не отходил от его постели. Время от времени, характерным жестом подняв палец, Нильс Бор повторял: «Но, Шредингер, вы все-таки должны согласиться...» Однажды, почли в отчаянии, Шредингер воскликнул: «Если мы собираемся сохранить эти проклятые квантовые скачки, то я вообще сожалею, что имел дело с атомной теорией!», - «Зато остальные весьма признательны вам за это», - ответил ему Бор.

С течением времени точки зрения сторонников матричной и волновой механик сближались. Сам Шредингер доказал их математическую эквивалентность еще в марте 1926 года, и независимо от него к тому же выводу пришли Карл Эккарт в Америке, Карнелиус Ланцет и Вольфганг Паули в Германии.

В августе 1926 года на съезд Британской ассоциации содействия науке приехал из Америки Дэвиссон и обсуждал свои новые эксперименты по отражению электронов от поверхности кристаллов с Борном, Хартри и Франком. Они снабдили его статьями Шредингера, которые он прилежно изучал на обратном пути через океан. Год спустя, продолжая с Джермером свои опыты, он экспериментально доказал реальность электронных волн, а за полгода до этого, в мае 1927 года, Дж. П. Томсон также обнаружил дифракцию электронов – волновая механика обрела прочное экспериментальное основание.

Опыты по дифракции электронов, впервые ставшие известными летом 1926 года сильно укрепили веру в теории де Бройля и Шредингера.

Постепенно физики не только поняли, но и смирились с тем, что дуализм «волна - частица» - это твердо установленный факт, а не остроумная гипотеза. Теперь ученые старались понять, к каким следствиям он приводит и какие ограничения накладывает на представления о квантовых процессах. При этом они сталкивались с десятками парадоксов, смысл которых понять зачастую не удавалось.

В ту осень 1926 года Гейзенберг жил в мансарде физического института в Копенгагене. По вечерам к нему навстречу поднимался Бор, и начинались дискуссии, которые часто затягивались далеко за полночь. «Иногда они заканчивались полным отчаянием из-за квантовой теории уже в квартире Бора за стаканом портвейна, - вспоминал Гейзенберг. - Однажды после одной такой дискуссии я, глубоко обеспокоенный, спустился в расположенный за институтом Фэллед-парк, чтобы прогуляться на свежем воздухе и немного успокоиться перед сном. Во время этой прогулки под усеянным звездами ночным небом у меня мелькнула мысль, не следует ли постулировать, что природа допускает существование только таких экспериментальных ситуаций, в которых...нельзя одновременно определить место и скорость частицы». В этой мысли - зародыш будущего соотношения неопределенностей.

Быть может, чтобы снять напряжение тех дней, в конце февраля 1927 года Нильс Бор уехал отдохнуть в Норвегию. Оставшись один, Гейзенберг продолжал напряженно думать. В частности, его очень занимал давний вопрос товарища по учебе Борхерта Друде (сына известного физика Пауля Друде): «Почему нельзя наблюдать орбиту электрона в атоме при помощи лучей с очень малой длиной волны, например гамма-лучей?». Обсуждение этого эксперимента довольно быстро привело его к соотношению неопределенностей. (Надо думать, что Гейзенберг с благодарностью вспомнил при этом старого экзаменатора Вили Вина, который хотел его прогнать с экзамена за незнание предела разрешающей способности микроскопа. Как впоследствии признался сам Гейзенберг, он был достаточно добросовестным, чтобы все-таки изучить этот раздел оптики после экзамена, который ему зачли лишь благодаря заступничеству Зоммерфельда, и знания эти, оказались теперь как нельзя более кстати.)

Через несколько дней возвратился из отпуска Бор с готовой идеей дополненности, которую он окончательно продумал в Норвегии. Еще через несколько недель напряженных дискуссий с участием Оскара Клейна все пришли к выводу, что соотношение неопределенностей - это частный случай *принципа дополненности*, для которого возможна количественная запись на языке формул. 23 марта 1927 года статья Гейзенберга «О наглядном содержании квантовомеханической кинематики и механики» с комментариями Бора поступила в редакцию.

К этому времени квантовую механику изучают уже повсеместно, больше всех, конечно, в Геттингене и Копенгагене. В зимнем семестре 1926-1927 гг. Давид Гильберт дважды в неделю читал в Геттингенском университете курс по математическим методам квантовой механики (он был издан уже весной 1927 года). Ему помогал 23-летний выходец из Венгрии Джон (Янош, Йоханн) фон Нейман (будущий создатель вычислительных машин, теории игр, один из величайших математиков XX века), который два года спустя придаст квантовой теории черты математической строгости и концептуальной независимости.

Со времени появления первой статьи Гейзенберга математический аппарат новой механики непрерывно совершенствовался, а ее интерпретация постепенно дополнялась и уточнялась. Через два года, к осени 1927 года, по квантовой механике было опубликовано более двухсот работ, и значительная их часть не устарела до сих пор. 16 сентября 1927 года в Комо на Международном конгрессе в честь столетнего юбилея Александра Вольты Нильс Бор прочел доклад «Квантовый постулат и новейшее развитие атомной теории». В нем он впервые последовательно изложил систему понятий новой квантовой физики и ввел термин «дополнительность». Несколько недель спустя, в конце октября 1927 года, в Брюсселе на V Сольвеевский конгресс собрались Планк, Эйнштейн, Лоренц, Бор, де Бройль, Борн, Шредингер, а из молодых – Гейзенберг, Паули, Дирак, Крамере. Здесь окончательно утвердилось то представление о квантовой механике и та система понятий, которая впоследствии получила название «копенгагенской интерпретации». Дискуссии на конгрессе стали самой суровой проверкой всех положений квантовой механики. Она ее с честью выдержала и с тех пор не претерпела почти никаких изменений в своих основах.

В те годы в Копенгагене в институте Бора создавалась не только наука об атоме – там выросла интернациональная семья молодых физиков. Среди них были Крамерс, Гаудсмит и Розенфельд – из Голландии, Клейн – из Швеции, Дирак – из Англии, Гейзенберг – из Германии, Бриллюэн – из Франции, Паули – из Австрии, Нишина – из Японии, Уленбек – из Америки, Гамов и Ландау – из России...Беспримерное в истории науки содружество ученых отличали бескомпромиссное стремление к истине, искреннее восхищение величием решаемых ими задач и неистребимое чувство юмора, так гармонизировавшее с общим духом интеллектуального благородства. «Есть вещи настолько серьезные, что о них можно говорить лишь шутя», - любил повторять Нильс Бор, который стал их учителем и духовным отцом.

В них жила та искра космического чувства, которая отличает людей истинно великих. Это чувство вечности они сохранили даже в гражданских смутах, современниками и участниками которых им

пришлось стать. Через много лет политические бури разбросают их по всему миру: Гейзенберг станет главой немецкого «уранового проекта», Нишина возглавит японскую урановую программу, сам Нильс Бор, спасаясь от нацистов, окажется в американском центре атомных исследований Лос-Аламосе...

Почти никого из этих людей уже нет сейчас в живых: Шредингер умер в 1961 году, Бор – в 1962 году, Борн – в 1970 году, Гейзенберг – в 1976 году, Дирак – в 1985 году, де Бройль – в 1987 году, и вместе в ними ушла целая эпоха физики, которую можно сравнить с эпохой Галилея и Ньютона.

## Информация к размышлению

- О красоте.

«Все́му прису́ща своя *красота*, но не каждому она видна». (Конфуций).

«Именно лучшую часть *прекрасного* нельзя передать на картине». (Френсис Бэкон).

«Ощущение тайны – наиболее *прекрасное* из доступных нам переживаний. Именно это чувство стоит у колыбели истинного искусства и настоящей науки». (Альберт Эйнштейн).

«*Красота* существует не сама по себе, а как часть состояния Души». (Вольтер).

«Хотя имена великих ученых – теоретиков хорошо известны, не каждый представляет себе, каким образом они работают. Часть их работы напоминает деятельность художника. Подобно тому как художник выражает свои мысли и чувства в красках, скульптор – в глине, музыкант – в звуках, так и профессионал от искусства науки использует формулы и законы, которые, подробно всякому обогащенному отражению окружающего нас мира, являют собой степень *красоты*. Высочайшая похвала, которую теоретик может заслужить, показывая вновь выведенную формулу, это восторженный возглас его коллеги: «*Как она красива!*» Фактически красота формулы отличается от красоты музыки не более, чем красота музыки от красоты картины...» (Ханнес Альвен).

«Физические законы должны обладать математической *красотой*». (Поль Дирак).

- О мнениях и сомнениях великих ученых.

«Великая научная идея редко внедряется путем постепенного убеждения и обращения своих противников, редко бывает, что «Саул становится Павлом». В действительности дело происходит так, что оппоненты постепенно вымирают, а растущее поколение с самого начала осваивается с новой идеей – пример того, что будущее принадлежит молодежи. Поэтому правильное планирование школьного обучения является одним из важнейших условий научного прогресса...» (Макс Планк).

«К квантовой механике я отношусь восхищенно-недоверчиво.» (Альберт Эйнштейн, 1926г.).

«Философия успокоения Гейзенберга-Бора (или религия?) так тонко придумана, что представляет верующему до поры до времени мягкую подушку, с которой его не так легко спугнуть. Пусть спит...» (Альберт Эйнштейн, 1928г.).

«Большой первоначальный успех квантовой теории не может заставить меня поверить в лежащую в основе всего игру в кости.» («Gott wirfelt nicht!» – «Бог не играет в кости!») (Альберт Эйнштейн, 1944г. – Эту фразу он повторял неоднократно до конца своей жизни).

«Все эти пятьдесят лет бесконечных размышлений ни на йоту не приблизили меня к ответу на вопрос: что же такое кванты света? В наши дни любой мальчишка воображает, что ему это известно. Но он глубоко ошибается...» (Альберт Эйнштейн, 1951г.).

Лауэ в 30-х гг. считал толкование Бора основ квантовой механики «дурным паллиативом», а в апреле 1950 года писал Эйнштейну: «Ты и Шредингер единственные из известных современников, которые в этом деле являются моими единоверцами».

Эйнштейн, Шредингер, Планк, Лауэ признавали могущество квантовой механики, но *не верили* в ее завершенность и окончательность, хотя все их попытки доказать неполноту и противоречивость квантовой теории постоянно заканчивались поражением.

Вот ситуация, которая наводит на размышления. Идея *гармонии и красоты мира* послужила мощным стимулом для Эйнштейна. Своими работами он неизмеримо расширил и углубил эту гармонию. Но в какой-то момент страстная приверженность ей помешала ученому воспринять новые идеи в квантовой физике.

Однако и сейчас можно назвать многие черты квантового физического мира, делающие его красивым в глазах каждого очередного поколения исследователей. *Прекрасно то, что законы природы поддаются математическому описанию*, причем этим законам присуща инвариантность, т.е. определенная *симметрия!* Эти приметы прекрасного мира вряд ли когда-нибудь будут «низвергнуты с пьедестала красоты.» Мир будет «поворачиваться перед человеческим оком» все новыми и новыми гранями. *Постижение красоты мира никогда не прекратится, так же как не прекратится и процесс познания мира!*

Знание не убывает, а только растет! Понимание накапливается, но не тратится!

## **Некоторые эвристические точки зрения...**

- В 1902-1904 гг. У.Томсон (лорд Кельвин) развивал теорию «вихревого атома». Согласно этой теории атом – «кекс» мог принимать различные формы. Как утверждал Кельвин, атомы подобны кольцам дыма, выпускаемых опытным курильщиком. Об этой теории Кирхгоф сказал: «Это прекрасная теория, потому что она исключает любую другую».

- В 1905 году ректор Мюнхенского университета Фердинанд Линдеманн придерживался оригинальной точки зрения, утверждая, что «атом кислорода имеет форму кольца, а атом серы – форму лепешки».

- Абсолютное большинство физиков придерживалось планетарной модели атома, а после научных исследований Резерфорда и Бора эта модель стала общепринятой. И никто не вспоминает о теории «вихревого атома» Кельвина и о «кольцах» – «лепешках» Линдемманна. А зря!

- Объемные изображения атома водорода в различных состояниях возбуждения с определенными квантовыми числами, построенные по функциям плотности электронного облака, вычисленным из уравнения Шредингера, дают именно такие причудливые формы, напоминающие образы атомов Кельвина и Линдемманна! Форма возбужденных атомов отличается от сферической тем больше, чем сильнее атом возбужден. Возбуждая атом, мы затрачиваем энергию на перестройку электронного облака. Оно может принимать различные формы в зависимости от строго определенных порций затраченной энергии. Формы электронных облаков в сложных атомах в целом не очень отличаются от форм, рассчитанных для атома водорода. Но рассчитать эти формы не так-то просто. Это удалось только после работ Владимира Александровича Фока (1898-1974) и Дугласа Хартри (1897-1958). Задача Хартри-Фока очень сложная, которая может быть решена только с помощью мощных вычислительных машин.

- *Квантовая механика* – это математическая теория, которая дает схему вычислений физически измеримых характеристик атомных явлений. Однако наука призвана дать нам и *правдоподобную картину мира*. Сделать это только с формулами и числами не представляется возможным. Необходимо создать еще и *образы объектов*, а также понятия, им соответствующие. Особенно важно это для тех, кто не знает и не понимает формул квантовой механики. Для них *язык образов и понятий* – единственный способ иметь научные представления о реальности! Эта реальность такова, что *образ атома* представляется *различными формами*: сфера, гантель, тор-«бублик», тор со сферой внутри, тор с двумя сферами, тор с гантелью и т.п.!

Все это относительно «электронного облака» в атоме! А ядро?

- Общепринятая точка зрения: ядро атома состоит из нуклонов, которые бывают в двух состояниях – протоны и нейтроны, которые считаются частицами. Однако давайте применим принцип неопределенности Гейзенберга, например, к протону в ядре, размер которого порядка одного ферми, т.е. примерно  $10^{-15}$  м. Тогда неопределенность положения протона должна быть меньше этой величины. Если это так, то в соответствии с соотношением неопределенностей неточность в оценке скорости протона в ядре соизмерима со скоростью света, что, естественно, абсурдно: неточность в

оценке скорости больше самой скорости?! И обратно, если принять неопределенность скорости протона в «разумных пределах», тогда неопределенность его положения в ядре выходит «за рамки разумного»?! Напрашивается *эвристический вывод*: нуклонная структура ядра «не просматривается»! Ядро – своеобразная «вещь в себе» (если следовать терминологии Канта).

Протонно-нейтронная *модель ядра* приемлема, что проявляется во многих опытах! Можно считать, что протонно-нейтронная структура ядра имеет место только потенциально, а актуально проявляется только при определенных взаимодействиях!

Аналогичным образом принцип неопределенности Гейзенберга «запретил» электрону в атоме иметь определенную траекторию движения! И к этому надо привыкать!

- Еще раз обратимся к цитате Альберта Эйнштейна, к той ее части, где сказано: «Все эти пятьдесят лет бесконечных размышлений ни на йоту не приблизили меня к ответу на вопрос: что же такое кванты света?...» Не парадоксально ли, что автор фотонной теории фотоэффекта, удостоенный за это Нобелевской премии искренне признается в своем непонимании, что такое фотон? Причем признается после открытия и создания теории эффекта Комптона, за что последний тоже получил Нобелевскую премию 1927 года! Это считается прямым доказательством существования фотона! И все-таки, что такое фотон?

Послушаем одного из создателей квантовой теории Луи де Бройля: «Открытие в 1923 году еще одного явления дало новые доказательства существования фотонов. Мы имеем в виду эффект Комптона... Наиболее характерной особенностью открытого Комптоном явления была зависимость частоты рассеянного излучения от угла рассеяния и независимость ее от природы рассеивающего тела. Комптон и почти в то же время Дебай указали, что все основные особенности этого нового явления могут быть объяснены, если рассматривать взаимодействие между электроном и электромагнитной волной как соударение электрона с падающим квантом излучения, или фотоном... Великолепно согласующаяся с экспериментальными данными теория эффекта Комптона чрезвычайно проста и позволяет, используя лишь законы сохранения импульса и энергии, точно определить зависимость частоты рассеянного фотона от угла рассеяния. Независимость частоты рассеянного излучения от природы рассеивающего тела объясняется элементарно. Действительно, в акте рассеяния участвуют лишь падающие фотоны и электроны, свойства которых совершенно не зависят от конкретной природы вещества, в состав которого они входят. Теория Комптона-Дебая так просто и изящно объяснила наиболее существенные особенности Комптоновского рассеяния, что сразу стала еще одним блестящим доказательством справедливости фотонной теории

света.» Так-то оно так, но эта теория, как и теория фотоэффекта, не ответила на вопрос: что же такое фотон?

• После создания квантовой теории, в состав которой вошел принцип неопределенности Гейзенберга-Бора (1927 год), физическое содержание понятия «фотон» изменилось существенным образом.

Фотон характеризуется энергией  $E = h\nu$  и импульсом  $p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$ ,

т.е. для данного фотона его импульс строго определенная величина, т.к.  $h$ ,  $\nu$ ,  $c$  – конкретны! Однако если частица характеризуется определенным значением импульса, то имеет место полная неопределенность ее локализации в пространстве! Отсюда следует, что *никакого пространственного деления электромагнитной волны на фотоны нет и быть не может!*

Вместе с тем электромагнитная волна может иметь не произвольный, а строго определенный (дискретный!) ряд значений энергии, причем минимальная порция этой энергии  $\Delta W = h\nu$ . Чем больше частота излучения, тем эта порция больше! При взаимодействии электромагнитной волны с электронами вещества ее энергия *изменяется «порционно»*. Эту ситуацию можно представить в виде модели взаимодействия фотона, имеющего энергию  $h\nu$  с покоящимся электроном, так как его скорость значительно меньше скорости фотона. Именно в этом и состоит физический смысл понятия «фотон»! Фразы «поглощение» или «испускание» фотона означают, что энергия волны увеличивается или уменьшается на определенную величину!

Так как нет пространственного деления волны на фотоны, то фотон не есть частица в обычном понимании, как например, свободные электрон или протон (не в атоме! и не в ядре!).

Таким образом, *фотон – квазичастица!* Его физическое содержание состоит в том, что он представляет собой *возбужденное состояние электромагнитного поля!* Фотон – квант этого поля, проявляющийся при взаимодействиях!

Квазичастица фотон представляет собой «наглядный» модельный образ и удобный метод исследования возбужденных состояний сложных систем. Сложная задача о взаимодействии электронов вещества с имеющим дискретные уровни энергии полем сводится к задаче о соударении частиц на основе законов сохранения! Реально электрон взаимодействует не с какой-то частицей, а с электромагнитным полем всей волны! Чрезвычайно сложное сводится к относительно простому, но мы видим, что это достаточно *сложная простота!*

Ни волны, ни частицы не следует абсолютизировать, так как путем абсолютизации любое дело можно довести до абсурда.

В релятивистской механике возможно существование частиц с нулевой массой покоя, т.е. такие частицы в покое не существуют, а

движутся всегда со скоростью «С». Энергия и импульс таких частиц связаны соотношением  $E=pc$ . Это соотношение справедливо и для электромагнитных волн. Если эти волны заключить в «ящик с зеркальными стенками», то будут иметь место собственные колебания поля. Их можно проквантовать, используя основные положения квантовой механики. В результате мы совершенно естественно приходим к представлению об электромагнитном поле как совокупности частиц с нулевой массой покоя, называемых *фотонами!*

Квантование поля существенно при рассмотрении процессов испускания и поглощения света атомом. Импульсы этих фотонов могут проявиться лишь в том случае, когда их энергия будет того же порядка, что и энергия покоя взаимодействующих с ними частиц, например, электронов.

Электромагнитное поле волны при взаимодействии с веществом обменивается с ним энергией и импульсом. Следовательно, поле фотонов будет системой с переменным числом частиц, так как фотоны будут поглощаться и испускаться веществом.

Возникнув, фотон движется со скоростью «С», поэтому фотон – принципиально релятивистский объект, энергия и импульс которого выражаются через постоянную Планка:  $E = h\nu$ ;  $p = \frac{h}{\lambda}$ . Постоянная  $h$  – «метка» квантовых объектов и явлений. Таким образом фотон – квантовый объект! При переходе к классическому рассмотрению ( $S \gg h$  или величиной  $h$  можно пренебречь) понятие фотона «исчезает само собой»!

В отличие от фотона электрон может рассматриваться и в нерелятивистском и в неквантовом приближении ( $m \neq 0$ ;  $v \ll c$ ). Исходя из этого, фотоны следует относить к квантам поля (полевые частицы), а электроны считать истинными частицам (частицами вещества).

Однако в ультрарелятивистском случае, когда энергия электрона значительно больше его энергии покоя ( $E \gg mc^2$ ), связь между энергией и импульсом электрона будет такой же как и у фотона, т.е.  $E = pc$ . Таким образом, в ультрарелятивистской квантовой области грани и различия между полевыми и вещественными частицами стираются. Это означает, что энергетически не запрещено взаимное превращение электромагнитного поля в вещество, а вещества – в электромагнитное поле (аннигиляция!).

Все это и получило блестящее экспериментальное подтверждение!

## Даты и факты развития квантовой теории

1900 г. Макс Планк сформулировал квантовую гипотезу и ввел фундаментальную постоянную (постоянная Планка), имеющую размерность действия, положив начало квантовой теории.

1905 г. Объяснение А. Эйнштейном законов фотоэффекта на основании существования квантов света, или фотонов.

- А. Эйнштейн открыл закон взаимосвязи массы и энергии.

1906 г. М. Планк вывел уравнения релятивистской динамики, получив выражения для энергии и импульса электрона.

1907 г. Разработка первой квантовой теории теплоемкости твердых тел (А. Эйнштейн).

1908 г. Г. Гейгер и Э. Резерфорд сконструировали прибор для регистрации отдельных заряженных частиц.

1909 г. Доказано, что альфа-частицы являются дважды ионизированными атомами гелия (Э. Резерфорд и Дж. Ройдс).

- А. Эйнштейн получил формулу для флуктуаций энергии.

1910 г. А. Гааз предложил модель атома, в которой впервые сделана попытка связать квантовый характер излучения со структурой атома.

• Экспериментально доказана дискретность электрического заряда и впервые достаточно точно измерена величина заряда электрона (Р. Милликен).

1911 г. Э Резерфорд открыл атомное ядро и создал планетарную модель атома (модель Резерфорда).

• Постулирование П. Вейссом кванта магнитного момента – магнетона. Независимо от Вейсса магнетон предсказал П. Ланжевен и вычислил его величину.

1912 г. Открыто явление дифракции (интерференции) рентгеновских лучей при прохождении их через кристаллы, что окончательно подтвердило их электромагнитную природу (М. Лауэ, В. Фридрах, П. Книппиг).

• Ч. Вильсон изобрел прибор для наблюдения следов заряженных частиц (камера Вильсона).

1912-1914 гг. Опыты Франка-Герца, доказавшие существование в атомах дискретных уровней энергии (стационарных состояний) и их связь с термами спектральных линий, и тем самым была подтверждена гипотеза Планка о квантах энергии и квантовая теория атома Бора.

1913 г. Н. Бор, применив идею квантования энергии к теории планетарного атома, сформулировал два квантовых постулата, которые характеризуют особенности движения электронов в атоме, и разработал первую квантовую теорию атома водорода (теория атома Бора).

- Введено понятие дефекта массы (П. Ланжевен).
- Резерфорд предсказал протон (открыт им же в 1919 г.).

- И. Штарк открыл явление расщепления спектральных линий в электрическом поле (эффект Штарка).

- Разработана теория дифракции рентгеновских лучей (Ч. Дарвин).

1914 г. Э. Резерфорд и Э. Андраде экспериментально осуществили дифракцию гамма-лучей на кристалле, доказав тем самым их электромагнитную природу.

- Р. Милликен проверил уравнение Эйнштейна для фотоэффекта и определил постоянную Планка.

1915 г. А. Зоммерфельд распространил теорию атома Бора на многократно периодические системы, ввел радиальное и азимутальное квантовые числа.

1916 г. П. Дебай и А. Зоммерфельд построили квантовую теорию эффекта Зеемана.

- Теоретически предсказано индуцированное излучение и введены вероятности спонтанного и вынужденного излучений (А. Эйнштейн).

1918 г. Н. Бор сформулировал принцип соответствия.

1919 г. Э. Резерфорд осуществил первую искусственную ядерную реакцию, превратив азот в кислород. В этой реакции был открыт протон.

1920 г. П. Капица и Н. Семенов впервые предложили идею определения магнитных моментов атомов в атомном пучке.

1921 г. Объяснение Н. Бором особенностей периодической системы химических элементов.

1922 г. А. Комптон открыл явление рассеяния коротковолнового излучения на свободном или слабо связанном электроны (эффект Комптона), чем экспериментально доказал существование фотона, постулированного в 1905 г. Эйнштейном.

- О. Штерн и В. Герлах экспериментально доказали, что магнитный момент электрона в атоме приобретает лишь дискретные значения (пространственное квантование).

1923 г. А. Комптон и П. Дебай дали теоретическую интерпретацию эффекта Комптона.

- П. Капица поместил камеру Вильсона в магнитное поле и наблюдал искривление треков заряженных частиц.

- Л. де Бройль высказал идею о волновых свойствах материи (волны де Бройля). Эта идея о всеобщности корпускулярно-волнового дуализма легла в основу волновой механики Шредингера.

1924 г. Л. де Бройль разработал теорию волновых свойств вещества.

- В. Паули сформулировал один из важнейших принципов.

1925 г. С. Гаудсмит и Дж. Уленбек постулировали существование внутреннего механического и магнитного моментов у электрона (гипотеза спина).

- В. Гейзенберг заложил основы новой квантовой механики. М. Борн и П. Йордан придали идеям Гейзенберга корректную математическую формулировку, введя матрицы координат и импульсов.

1926 г. Э. Шредингер создал волновую механику, в основе которой волновое уравнение (уравнение Шредингера).

- М. Борн дал статистическую интерпретацию волновой функции Шредингера.

- Э. Шредингер доказал математическую эквивалентность матричной механики Гейзенберга и волновой механики.

1927 г. В. Гейзенберг сформулировал фундаментальное положение квантовой механики – принцип неопределенности (принцип Гейзенберга).

- Н. Бор сформулировал принцип дополнительности.

- Открытие дифракции электронов (К. Дэвиссон, Л. Джермер, Дж. П. Томсон).

- П. Дирак построил квантовую теорию излучения, положив начало квантовой теории электромагнитного поля.

1928 г. П. Дирак вывел квантовомеханическое уравнение, описывающее движение релятивистского электрона (уравнение Дирака). Из этого уравнения вытекало наличие у электрона полуцелого спина.

1929 г. О. Штерн открыл дифракцию атомов и молекул.

1930 г. Открыто излучение большой проникающей способности, возникающее при бомбардировке бериллия альфа-частицами (В. Боте, Г. Беккер).

- И. Тамм разработал квантовую теорию рассеяния света в кристаллах и ввел представление об упругих колебаниях в твердом теле (фононах). Идея фонона содержалась уже в работах Эйнштейна (1911 г.) и Дебая (1912 г.).

1931 г. В. Паули выдвинул гипотезу о существовании нейтрино.

- П. Дирак предсказал античастицы, рождение и аннигиляцию пар, выдвинул гипотезу о существовании элементарного магнитного заряда (монополь Дирака).

- Изобретен электронный микроскоп (М. Кнолль, Э. Руска).

1932 г. Открытие Дж. Чэдвигом нейтрона.

- Д. Иваненко выдвинул гипотезу о нейтронно-протонном строении ядра атома. Эта модель, непосредственно развитая Гейзенбергом, явилась основой современного понимания строения атомных ядер.

- Открытие сильных взаимодействий.

- К. Андерсон открыл позитрон, теоретически предсказанный Дираком.

1933 г. Открыто явление образования электрона и позитрона из гамма-квантов (Ф. и И. Жолио-Кюри, К. Андерсон, П. Блэккетт, Дж. Оккиалини). Механизм этого явления объяснил Р. Оппенгеймер.

- Э. Ферми разработал теорию бета-распада, в которой ввел новый тип взаимодействий – слабое.

1934 г. Открытие искусственной радиоактивности (Ф. и И. Жолио-Кюри).

1935 г. Х. Юкава, развивая полевою теорию парных ядерных сил, постулировал наличие сильно взаимодействующего кванта ядерного поля (мезона) – частицы, осуществляющей взаимодействие между нуклонами.

1936 г. Создание капельной модели ядра (Н. Бор, Я. Френкель).

- Открыта дифракция нейтронов.

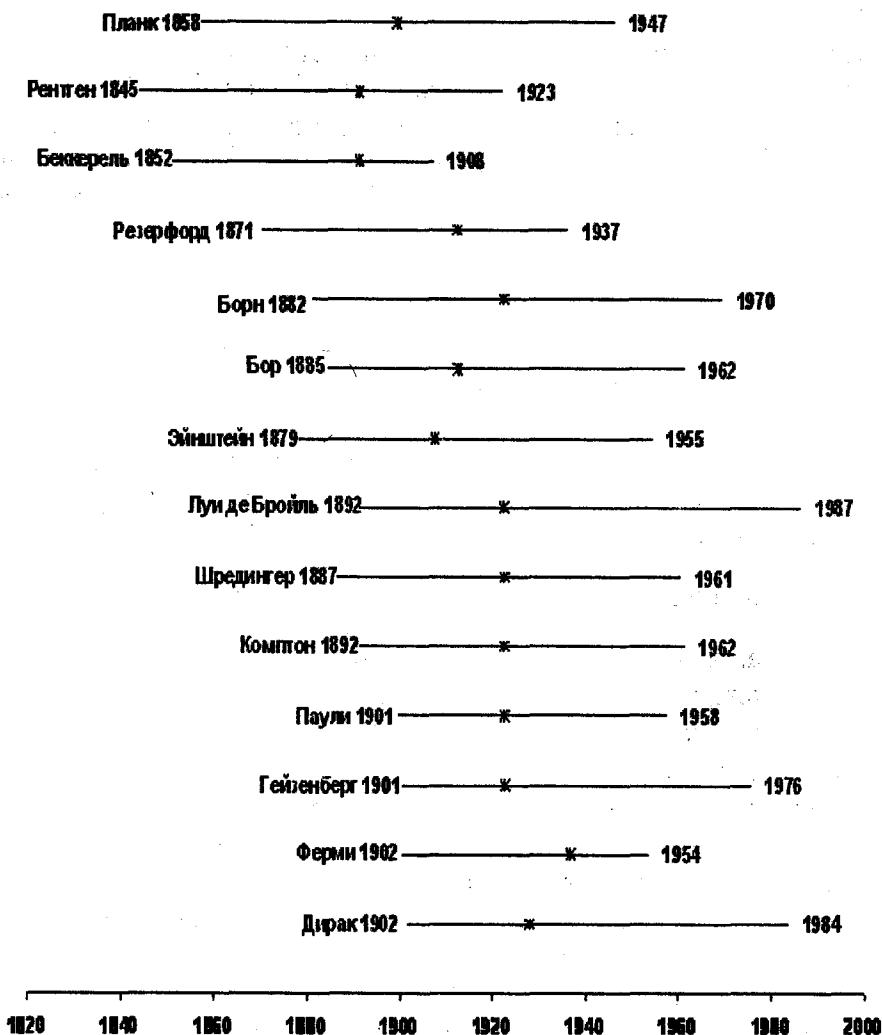
1937 г. Л. Ландау разработал теорию промежуточного состояния сверхпроводников. Он же разработал теорию фазовых переходов второго рода.

1938 г. Открыто явление деления ядра урана (О. Ганн, Ф. Штрассманн).

1939 г. Интерпретация Л. Мейтнер экспериментов Гана и Штрассманна как распада ядра урана на два осколка почти одинаковой массы.

1940 г. Открыто явление спонтанного деления ядер урана 235 (Г. Флеров, К. Петражак).

# Научно-историческая хронограмма



## Квантово-механическое резюме

- Изучение физических явлений, происходящих с частицами очень малой массы и в очень малых областях пространства, необходимо осуществлять на основе *экспериментов*.

- Пропуская через тонкое кристаллическое вещество (фольгу) одиночные электроны, обнаруживаем на фотопластинке или сценциллирующем экране картину чередующихся максимумов и минимумов. Эта картина напоминает *дифракционную картину* рентгеновских лучей (лауэграмму). Результат опыта означает, что электроны подчиняются в указанных условиях *законам волнового движения*.

- Наиболее убедительно выглядит картина дифракции электронов, если их *добрыйлевская длина волны соизмерима с шириной «щелей»* в своеобразной «дифракционной решетке». (межатомные расстояния в кристалле).

- Понятие траекторий справедливо с достаточной точностью для электронов, движущихся от «электронной пушки» до кристалла. Ситуация резко меняется, если пространственная область (в кристалле)

соизмерима с длиной волны движущегося электрона, т.е.  $\lambda = \frac{h}{mv}$ , где  $m$  - масса электрона, а  $v$  - его скорость. В этом случае на первый план выступают волновые эффекты, и к электрону как частице *непрерывно понятие траектории*.

- При таких физических условиях справедливым оказывается *принцип неопределенности*. Согласно этому принципу, скорость (а также импульс) частицы, не может иметь определенного значения одновременно с ее координатами. Скорость, умноженная на сколь угодно малый промежуток времени, определяет смещение частицы за это время. Поэтому неопределенность скорости в данном положении приводит к тому, что уже в бесконечно близкий момент времени координаты частицы вообще не будут иметь никакого определенного значения! Мы вынуждены говорить только о *вероятности нахождения квантовой частицы* в той или иной точке вблизи ее локализации. *Понятие траектории частицы полностью теряет смысл!*

- Для описания поведения электрона в областях (например, в атоме), где он проявляет волновые свойства, вводят так называемую *волновую функцию*, квадрат модуля которой дает *распределение вероятностей нахождения электрона* в той или иной точке пространства. Уравнение Шредингера и его решение прекрасно справляется с *двойственным* (корпускулярно-волновым) поведением микрочастиц (квантонов).

- Оптические исследования показывают, что даже в простейшей физической системе протон-электрон (атом водорода) значения энергии системы образуют *дискретный набор* (спектр). Из этого следует, что для нахождения спектра значений энергии необходимо решать уравнение Шредингера с целью нахождения *собственных значений*. Это означает, что *величина* полной энергии должна заменяться на ее *оператор*.

- *Общий квантовомеханический принцип*: в квантовой теории всякой физической величине должен быть сопоставлен некий оператор. *Операторное исчисление* – великое изобретение в науке!

- Оценка скорости электрона в атоме на основе принципа неопределенности дает результат порядка  $10^6$  м/с. Это означает, что электрон в атоме водорода в определенном приближении может рассматриваться в *нерелятивистской теории*.

- Дебройлевская длина волны электрона  $\lambda = \frac{\hbar}{mv}$  порядка  $10^{-10}$  м.

Следовательно, в этих условиях обязательно действуют *квантовые закономерности!*

- Оценка энергии электрона в атоме водорода дает результат порядка  $10$  Эв. Тогда частоты спектра излучения возбужденного атома имеют порядок  $10^{16}$  с<sup>-1</sup> или в длинах волн  $10^{-7}$  м. Это означает, что возбужденный атом водорода является *источником света!* Свет рождается в атоме!

## Релятивистские квантовые обобщения

- В специальной теории относительности возможны частицы с нулевой массой покоя, так как такие частицы движутся только со скоростью света «с». Энергия и импульс таких частиц связаны соотношением  $E = pc$ .

- Это соотношение справедливо и для любых электромагнитных волн. Если их заключить в «ящик с зеркальными стенками», то возникнут *собственные колебания поля с дискретными значениями энергии*. В итоге мы совершенно естественно приходим к представлению об электромагнитном поле как *совокупности частиц с  $m = 0$  и  $v = c$* . *Это и есть фотоны!*

- *Импульс фотона* – частицы (квазичастицы) может «ощутимо» проявиться лишь при его энергии того же порядка, что и энергия покоя взаимодействующих с ним частиц (например, электронов в эффекте Комптона).

• Поле электромагнитной волны при взаимодействии с веществом обменивается с ним энергией и импульсом. Из этого следует, что *поле фотонов является системой с переменным числом частиц* (фотоны поглощаются и испускаются веществом).

• Фотон, однажды возникнув, может двигаться только со скоростью «с», т.е. *фотон принципиально релятивистский объект!*

• Энергия фотона  $E = h\nu$ , его импульс  $p = \frac{h}{\lambda}$ , где  $h$  - «метка» квантовых объектов. Таким образом *фотон принципиально квантовый объект!* Энергия фотона и его импульс при переходе к классическому рассмотрению исчезают вместе с минимальной «порцией» действия при  $h \ll S$ , тогда  $h \approx 0$ .

• В отличие от фотона *электрон* может рассматриваться как в *нерелятивистском*, так и в *неквантовом*, т.е. в *классическом приближении*. Исходя из этого, *фотон-квант поля*, а *электрон – частица вещества*. Иначе: фотон – *квазичастица*, а электрон – *настоящая, «порядочная и честная» частица*, т.е. *истинная частица!*

• Однако... Энергия релятивистского электрона  $E^2 = (cp)^2 + (m_0c^2)^2$ , а в *ультрарелятивистском приближении*, когда  $cp \gg m_0c^2$ , имеем для электрона  $E = cp$ , т.е. такое же соотношение, как и у фотона! Это означает, что в ультрарелятивистской квантовой области *«стирается» различие между полем и частицами вещества!* Так как  $E \gg m_0c^2$ , то *энергетически не запрещено рождение частиц вещества из поля и превращение «вещественных» частиц в полевые* (аннигиляция)! Все это блестяще подтверждено экспериментами! В достаточно сильных полях (например, вблизи ядер) возможно рождение электронно-позитронных пар. Возможно также и превращение электронов и позитронов (при достаточной их энергии) в кванты электромагнитного поля (фотоны).

• При анализе сильных взаимодействий соотношение неопределенностей в энергетической форме  $\Delta E \Delta t \geq \hbar$  для ультрарелятивистского случая ( $E = cp$ ) дает интересный для анализа результат:

$$\Delta p \Delta t \geq \frac{\hbar}{c}$$

Это означает, что в этом случае *нельзя детально рассматривать взаимодействие частиц!* Малая продолжительность акта взаимодействия порождает невозможность «следить» за импульсами взаимодействующих частиц.

- Отказ от понятия взаимодействия лишает смысла вопрос о существовании «составных» и истинно элементарных частиц, так как *составную частицу невозможно построить без рассмотрения взаимодействий*. В результате в рамках релятивистских квантовых представлений все частицы выступают как «равноправные». В такой системе, как протон-электрон (атом водорода) отношение энергии связи к собственной энергии порядка  $10^{-5}$ , и о связанном электроне имеет смысл говорить как о самостоятельном объекте. А вот для протон-пионной системы, которая живет  $10^{-23}$  секунды, отношение энергии связи  $\Delta E = \frac{\hbar}{\Delta t}$  к собственной энергии пиона  $E_\pi = m_\pi c^2$  будет порядка единицы. Таким образом «система протон-пион» (один из резонансов) в такой же степени элементарна, как и протон и пион, рассматриваемые отдельно.

Resume: *Все, что создано человеческим духом, может быть ним и понято!*

# ПРИЛОЖЕНИЯ К ПЕРВОМУ РАЗДЕЛУ

## Действие

- Действие – физическая величина

$$[S] = \text{Дж} \cdot \text{с}$$

• Формулировка законов природы в интегральной форме позволяет исключить зависимость вида этих законов от выбора динамических переменных, которые используются в математических выражениях законов.

$$S = \int_{t_1}^{t_2} \mathcal{L} dt$$

$\mathcal{L}$  – функция всех обобщенных координат, обобщенных скоростей и времени, называется она функцией Лагранжа.

• Фундаментальный принцип наименьшего действия системы имеет вид:

$$\delta S = 0$$

Это означает, что истинное движение системы между заданными начальным и конечным положениями будет таким, что действие  $S$  принимает минимальное значение для данных условий.

• Действие  $S$  варьируется по близким траекториям при неизменных граничных условиях системы. Такая операция приводит к выводу, что движение системы вдоль истинной траектории происходит в соответствии с уравнениями Лагранжа и законами Ньютона.

• Связь действия с другими динамическими характеристиками такова:

- Импульс  $p = \frac{\partial S}{\partial q}$

- Энергия  $E = \frac{\partial S}{\partial t}$

- Момент импульса  $L = \frac{\partial S}{\partial \varphi}$

Здесь  $q$  и  $\varphi$  – обобщенные координаты.

• Понятие действия является универсальным. Физические системы самой различной природы могут быть описаны с использованием этой физической характеристики.

• Существует элементарный (минимальный!) квант действия! Это квантовая постоянная Планка

$$h = 6,6260753 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

• Если  $S$  значительно больше  $h$ , квантовые эффекты практически не проявляются! Таким образом *присутствие  $h$  в формулах является своеобразной «меткой» квантовых явлений!*

## АТОМ

1887 год – Дневниковая запись Петра Николаевича Лебедева: Мне кажется, что частота излучения атомов должна определяться частотой обращения заряженных частиц по орбите.

1891 год – Джонстон Стоней утверждал, что электроны (гипотетические) движутся вокруг атома подобно спутникам планет.

1897 год – Дж. Дж. Томсон «открыл» электрон.

1901 год – Жан Перрен предложил «нуклеарно-планетарную структуру атома».

1902 год – Уильям Томсон (лорд Кельвин) предложил «кексовую» структуру атома и теорию «вихревого» атома. Согласно этой теории «атомы подобны кольцам дыма, выпускаемых опытным курильщиком».

1903 год – «Кексовую» структуру атома независимо предложил и Дж. Дж. Томсон.

1903 год – Хантаро Нагаока: «Пространства вокруг атома чрезвычайно громадны по сравнению с величинами самих, образующих его электрических ядрышек, иными словами, атом представляет своего рода сложную астрономическую систему, подобную кольцу Сатурна».

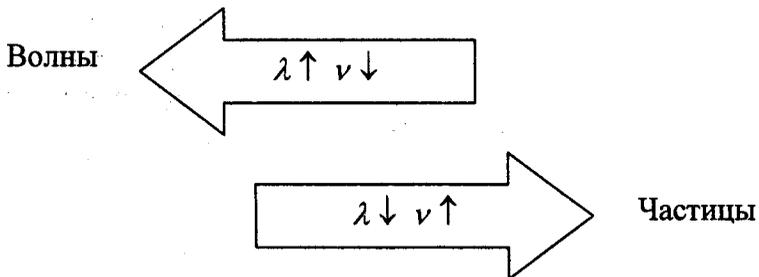
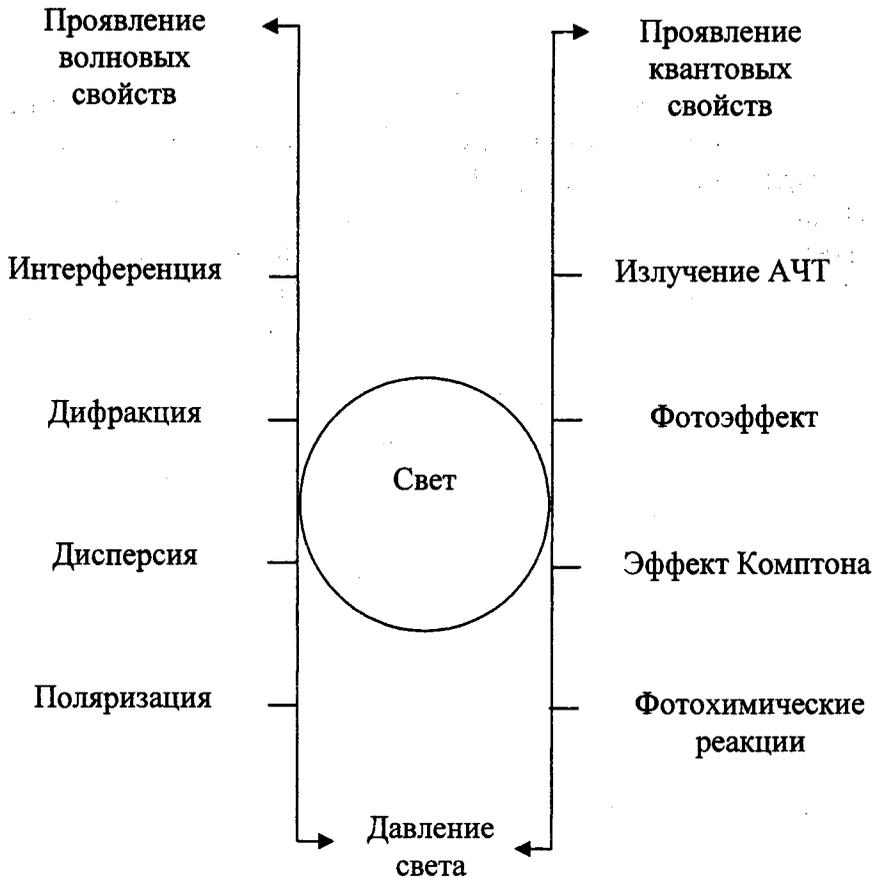
1905 год – Фердинанд Линдеманн: «Атом кислорода имеет форму кольца, а атом серы – форму лепешки».

1909 год – Эрнест Резерфорд со «своими мальчиками» начинает опыты по рассеянию альфа-частиц на золотой фольге.

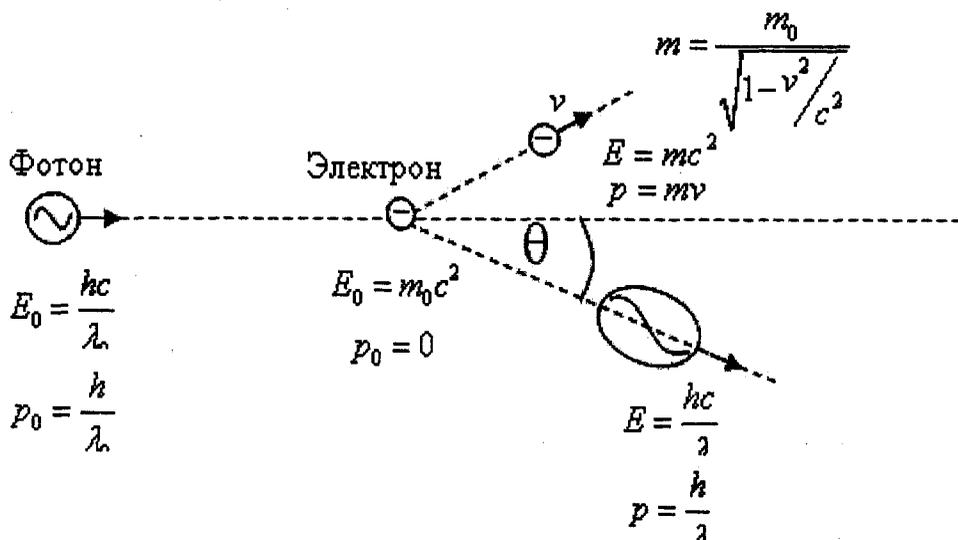
7 мая 1911 года – Манчестерское философское общество услышало доклад Резерфорда: «Рассеяние альфа- и бета-лучей и строение атома». Слушатели узнали, что атом – планетарен», его размеры порядка  $10^{-10}$  м, размеры ядра порядка  $10^{-15}$  м. Электроны движутся по определенным орбитам вокруг ядра. Все, а тем более сам Резерфорд, понимали, что такой атом существовать не может!? Но ведь он существует!

1913 год – Нильс Бор «спасает» «обреченный» атом Резерфорда! Бор нашел решение проблемы, когда понял, что *атомы – лучи – электроны связаны между собой общим планковским понятием – КВАНТ!*

# Квантово-волновой дуализм света (излучения)



# Взаимодействие электромагнитных волн с веществом (фотонов с электронами) – эффект Комптона



$$\lambda - \lambda_0 = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \theta)$$

$$\Delta \lambda = f(\theta)$$

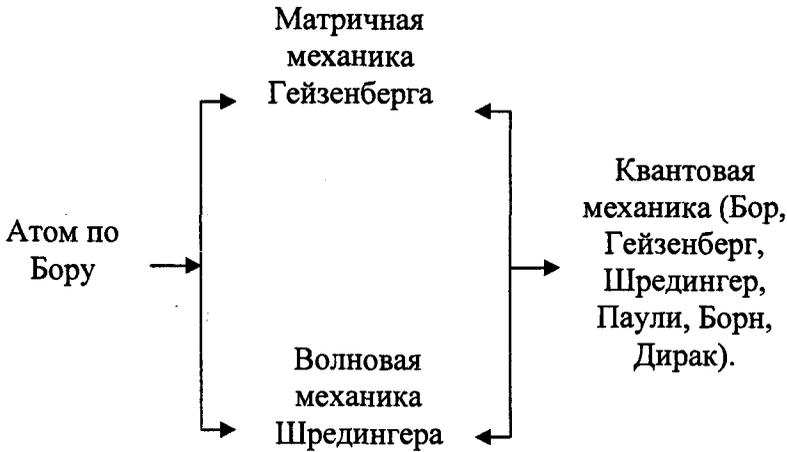
$$\Delta \lambda_{\max} (\theta = \pi) = \frac{2h}{m_0 c} = 2,42 \cdot 10^{-10} \text{ м}$$

$\Delta \lambda$  – комptonовское изменение длины волны фотона

$\lambda > \lambda_0$  – фотон «краснеет»!

Эффект Комптона «отчетливо» проявляется, если  $h\nu$  фотона соизмеримо с  $m_0 c^2$  электрона!

# Квантовая физика и математика



М. Планк

$$E = h\nu$$

А. Эйнштейн

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2}$$

Н. Бор

$$Y = R \left( \frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

А. Комптон

$$\Delta\lambda = \frac{h}{mc}(1 - \cos\theta)$$

В. Гейзенберг

$$\Delta p_x \Delta x \geq \hbar \quad \Delta E \Delta t \geq \hbar$$

Л. де Бройль

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

Э. Шредингер

$$\frac{d^2\Psi(x)}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2}(E - U)\Psi(x) = 0$$

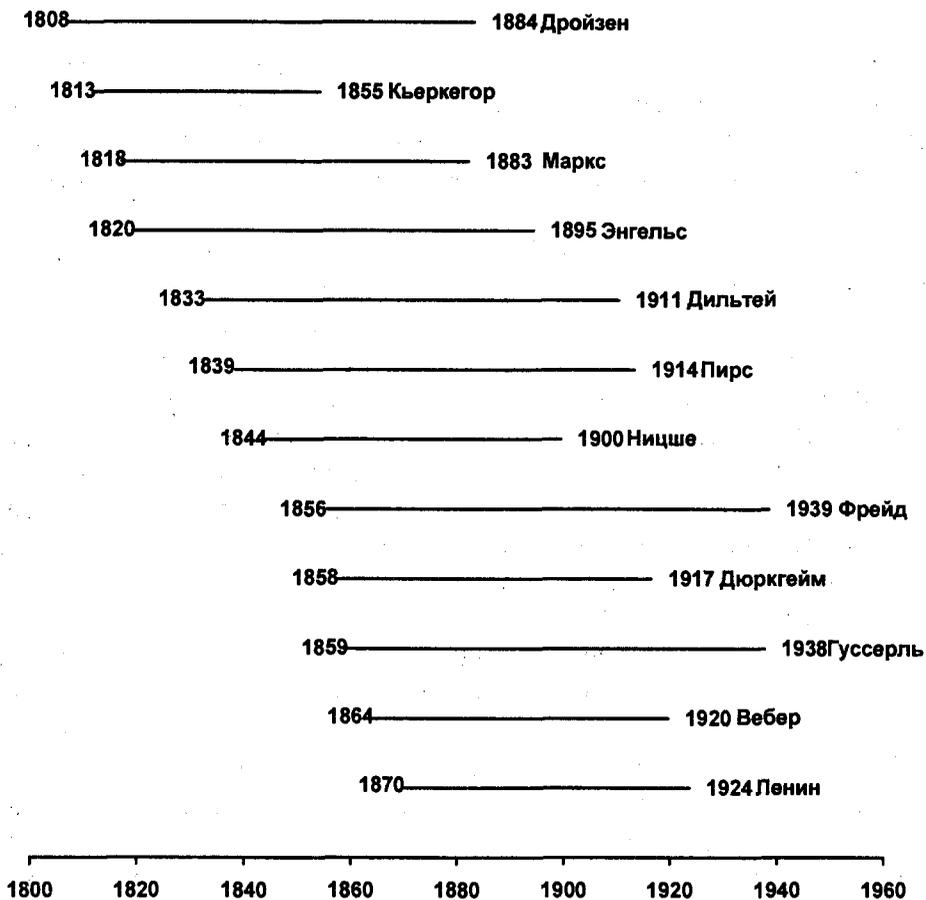
$$i\hbar \frac{\partial \psi(x,t)}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \psi(x,t)}{\partial x^2} + U\psi(x,t) = 0$$

М. Борн

$$\psi^*(x)\psi(x) = |\psi(x)|^2$$

Истинно новое открывается в основном на основе интуиции, догадки, вдохновения, озарения (!), а постигается, обосновывается, доказывается на основе логического мышления и эксперимента!

# Философско-историческая хронограмма



## **Философские идеи, взгляды и учения, которые могли повлиять (или повлияли) на мировоззрение Нильса Бора и других творцов квантовой физики**

Рассмотренные нами в 1-ой книге учения античных философов, а также философов нового времени, эпох возрождения, просвещения имеют отношение к мировоззрению ученых-творцов квантовой теории. В связи с этим плеяду выдающихся философов дополним новыми именами 19-го столетия.

**Иоанн Дройзен (1808-1884).** Если у нас нет данных, которые не зависят от интерпретации (от нашего понимания), то необходимо объяснить, как и в каком смысле может быть объективна наша интерпретация в свете корреспондирующей концепции истины (истины как соответствия). Именно Дройзен проводит различие между пониманием как методом естественных наук и объяснением как методом естественных наук. Этот методологический дуализм является одним из наиболее проблематичных вопросов и сегодня. Программа развития гуманитарных наук, основанная на методе понимания, заняла центральное место в учениях Вильгельма Дильтея и Макса Вебера.

**Вильгельм Дильтей (1833-1911)** много внимания уделил фундаментальной эпистемологической проблеме, суть которой состоит в выяснении специфики гуманитарных наук и их отличии от наук естественных.

Дильтей считал, что возникновение гуманитарных наук было своеобразной герменевтической революцией. По Дильтею жизнь непосредственно объективизируется в научных текстах и произведениях искусства, т.е. предметом изучения гуманитарных наук является форма объективизации духа. Объективный дух, как отражение жизни, присутствует в морали, религии, науке, искусстве и философии. Понимание в гуманитарных науках заключается в необходимости и способности исследователя воспроизвести и пережить первоначальное переживание творца гуманитарного знания. С этой целью Дильтей вводит в свою герменевтику важный принцип подобия между создателем определенного выражения (например, текста или картины) и исследователем, который пытается понять это выражение. По Дильтею это подобие проистекает из общей человеческой природы автора и интерпретатора. На основе принципа подобия, как утверждает Дильтей, существует внутренняя взаимосвязь между жизнью, жизненным опытом и гуманитарными науками, которые их отражают. Человек может понять

то, что создано человеком! Различие между естественными и гуманитарными науками Вильгельм Дильтей формулирует следующим образом: «Только то, что создано духом, может быть им понято. Природа, предмет естествознания, охватывает реальность, которая возникла независимо от усилий человеческого духа. Все то, на чем человек оставил свою печать, составляет предмет исследований гуманитарных наук».

Согласно Дильтею, понимание основывается на том, что субъекты различных эпох и цивилизаций обладают способностью распознавать себя в других. Вместе с тем, как и Дройзен, Дильтей акцентирует внимание на наличии творческого элемента в понимании определенного выражения. Возможность воспроизведения переживания в определенном смысле преодолевает отчужденность всякого знания.

«Выражение», согласно Дильтею, это нечто внутреннее, что становится внешним в различных формах, предпочитаемых автором-выразителем. В связи с этим во внешнем выражении исследователь призван всегда искать смысл, т.е. внутреннюю сущность! Все это способствует тому, что герменевтика призвана составлять фундаментальную основу методологии гуманитарных наук. По мнению Дильтея, каждый познавательный акт предполагает наличие «герменевтического круга» Шлейермахера (1768-1834). Категориальная структура «часть-целое» (и «целое-часть») является необходимой предпосылкой понимания в гуманитарных науках. От себя добавим, что эта категориальная структура является чрезвычайно важной в отношении проблемы «объяснение-понимание» в квантовой физической теории!

**Сёрен Кьеркегор (1813-1855).** Мировоззрение Нильса Бора в юношеские годы формировались под влиянием философии Сёрена Кьеркегора. Этот датский мыслитель был полон противоречий с установкой на самовопрошание и самоуверенность, что требовало индивидуальной свободы и автономии.

В современной философии Сёрен Кьеркегор считается основоположником экзистенциализма, так как он стремился содействовать экзистенциальному постижению того, что означает существовать в качестве человека. Сама по себе философия Кьеркегора относительно трех видов интерпретации (назидательной, синтезирующей, иронически-рефлексивной) своеобразна и интересна, но мы акцентируем внимание на его учении об истине.

Кьеркегор различает объективную и субъективную истины. Первая предполагает, что имеет место соответствие высказываний фактическому состоянию дел (корреспондирующая концепция истины). Субъективная истина имеет место, когда мы характеризуем наши отношения к миру, т.е. это экзистенциальное качество человеческого отношения к тому, что по Кьеркегору не есть что-то ложное, не являющееся объективным. Этот

термин используется исключительно для обозначения решающей роли человеческих отношений в конкретной ситуации.

В научном плане Сёрен Кьеркегор использует понятие абсолютной истины для обозначения бесконечного приближения к ней в процессе познания. Мы никогда не достигнем окончательного и абсолютно определенного знания на основе научного подхода. В связи с этим всегда будет существовать различие между естественно-научным знанием, полученным в результате исследований, и личным религиозным знанием, основанным на вере в личностного Бога.

Кьеркегор, вслед за Паскалем и Кантом, считал что научные аргументы независимо от способа их получения и проверки никогда не будут иметь решающего значения в религиозной сфере.

Таким образом, Кьеркегор утверждал, что мы можем иметь субъективно истинную установку по отношению к объективной истине. Главное состоит не в том, чтобы поведать объективную (научную или религиозную) истину, а в том, чтобы показать, насколько важной является «субъективная» истина! Парадоксами и противоречиями наполненная человеческая жизнь нашла впоследствии свое яркое воплощение в процессе научного познания квантовых явлений!

**Фридрих Ницше (1844-1900).** До Ницше философы рассматривали мир в качестве осмысленного, рационального и справедливого мироздания. В мире царил порядок, заложенный Богом, а поэтому существование человека имело смысл. Мир – упорядоченный космос, в котором человек обладал определенным местом. Вот эту философскую концепцию и стремился разрушить Фридрих Ницше, для которого философские и религиозные картины мира не являются истинным изображением реальности, а только лишь выражают потребность человека в смысле своего существования и необходимости определенного порядка.

Ницшеанское понимание истины составляет суть его эпистемологии. Науки и все метафизические системы, согласно Ницше, являются фикциями, налагаемыми на реальность и представляющими собой выражение воли к власти. Ницше рассматривает познание во взаимосвязи с интересом на основе натуралистической точки зрения. «Наша вера в науку покоится все еще на метафизической вере, - ... даже мы, познающие ныне, мы – безбожники и антиметафизики берем наш огонь все еще из того пожара, который разожгла тысячелетняя вера, та христианская вера, которая была также верою Платона, - вера в то, что Бог есть истина, что истина божественна... А что, если именно это становится все более и более сомнительным, если ничто уже не оказывается божественным, разве что заблуждением, слепотою, ложью, - если сам Бог оказывается продолжительнейшей нашей ложью?» - так философски вопрошал Ницше.

Теория Ницше «истинна», как он считал, не в том смысле, что выражает истину о мире (такой истины просто не существует), а в том смысле, что истина служит людям. Это, так называемая, прагматическая («жизнеутверждающая») концепция истины. Если это так, то что может быть критерием «жизнеутверждающего» и «жизнеотрицающего»?

Ницше рассматривал себя и свою философию как эксперимент. Он подвергает критике и отрицанию глубоко укоренившиеся человеческие представления. Он сомневается в ценностях, которые часто догматически и беспроблемно воспринимались как само собой разумеющееся, самоочевидное. Именно эта его позиция могла составить ту методологическую основу, которая сыграла бы положительную роль в процессе физических исследований квантовых явлений.

**Макс Вебер (1864-1920).** Согласно Веберу, существует фундаментальное различие между фактами и ценностями. В науке мы ищем истину, которая имеет значение для всех и каждого. Макс Вебер проводит различие между науками о культуре, основанными на понимании, и естественными науками, основанными на объяснении. Мы видим, что в этом отношении Вебер продолжает линию Дройзена, Дильтея и некоторых других философов. Вместе с тем позиция Вебера достаточно близка к позиции Ницше о многообразии субъективных ценностных точек зрения. Веберовская философия исповедует идею плюрализма ценностей и свободы выбора. Каждый, кто хотел бы изучать и описывать мир без ценностных предпосылок, вынужден был бы осуществлять бесконечное число наблюдений и иметь набор важных и неважных фактов. Поэтому мы оцениваем окружающий нас хаос так, что в определенном отношении становится значимой только часть реальности.

Следуя герменевтической традиции, Макс Вебер все же подчеркивает, что «понимание» не исключает «объяснения». Герменевтический метод понимания является дополнительным к методу причинного объяснения, характерного для естественных наук. (Не здесь ли находятся истоки научного принципа дополнительности Нильса Бора, чрезвычайно важного принципа в квантовой теории?)

«Идеальные типы» Вебера как базисные научные понятия, в совокупности образуют определенную модель реальности. Научная ценность «идеальных типов» определяется типами действий. Таких «чистых» действий у Вебера четыре:

- Целерациональное действие;
- Ценностно – рациональное действие;
- Аффективное или эмоциональное действие;
- Традиционное действие предопределенное глубоко укоренившимися привычками.

Обобщенные «идеальные типы» и соответствующие им действия наводят своеобразный, «мост» между науками, которые имеют дело с универсальными законами, и науками, которые описывают отдельные неповторимые факты.

Макс Вебер выделяет особый вид рациональности, характерный для западной культуры: «Современный человек, дитя европейской культуры, неизбежно и с полным основанием рассматривает универсально – исторические проблемы с вполне определенной точки зрения. Его интересует прежде всего следующий вопрос: какое сцепление обстоятельств привело к тому, что именно на Западе, и только здесь, возникли такие явления культуры, которые развивались – по крайней мере как мы склонны предполагать – в направлении, получившем универсальное значение».

Согласно Веберу, именно на Западе возникла наука общезначимая для всех людей. Эмпирическое знание, философские и теологические учения существовали и в восточной культуре. Однако там добываемые знания были лишены системной математической основы, рациональных доказательств и обоснований на основе четких научных понятий.

Вебер предостерегает, что научная рационализация ведет к «утрате смысла и внутренней потребности». По мере того как наука способствует сциентизации мира, возрастает наша потребность в смысле. Однако эта потребность не может быть удовлетворена наукой: «Судьба культурной эпохи, «вкусившей» плод от древа познания, состоит в необходимости понимания, что *смысл* мироздания не раскрывается исследованием, каким бы совершенным оно ни было, что мы сами призваны создать этот смысл, что «мировоззрения» никогда не могут быть продуктом развивающегося опытного знания и, следовательно, высшие идеалы, наиболее нас волнующие, во все времена находят свое выражение лишь в борьбе с другими идеалами, столь же священными для других, как наши для нас».

Определенные фундаментальные ценности являются конститутивными для научной деятельности. Истина и общезначимость носят основополагающий характер для любого исследования. Это не зависит от области исследования. Исследователь действует, исходя из собственных или присущих его эпохе ценностных представлений.

Эдмунд Гуссерль (1859-1938) развивал учение о том, что философия и наука телеологически (целенаправленно) предполагают рациональность, а феноменология призвана освещать и разъяснять базисные проблемы науки. Согласно Гуссерлю, феноменология должна поддерживать науку в условиях «кризиса европейских наук» путем детального изучения жизненного мира как смыслообразующего основания наук. Феноменология не только описывает явления, но и намерения людей (ученых), причем эти намерения в основном

обнаруживаются в контекстах результатов их исследований. Эпистемологические проблемы обсуждаются с акцентом на действия, а не на пассивный чувственный опыт. Осознание того, что мы делаем, является фундаментальным и не сводится к простым чувственным впечатлениям.

В феноменологическом анализе контекстов, основанном на понятии действия и намерения действующего лица, главным является представление сферы действия с помощью категорий, используемых действующим лицом. Следовательно, феноменология Гуссерля имеет достаточно тесную взаимосвязь с методом исследования, характерным для гуманитарных и социальных наук (метод понимания в отличии от метода объяснения в естественных науках).

**Мартин Хайдеггер (1889-1976)** считал, что западная цивилизация в ее историческом развитии не является движением «к свету и счастью». Чем больше люди пытаются охватить существующее в своих теоретических понятиях, тем более они уходят от того, что является жизненно важным и существенным. Наше понимание действительности может быть развито и углублено на фоне того, что мы знаем. Новое видится нам в свете известного, поэтому всегда имеют место определенные предпосылки. Вместе с тем мы можем видоизменять наши первоначальные установки, а поэтому постижение реальности будет характеризоваться определенной новизной. В связи с этим мы изменяемся и сами, формируем самих себя, наполняя внутренний мир новыми качественными образованиями. Мы осознаем (понимаем) окружающий мир и себя в этом мире по-новому. Это означает, что герменевтический процесс представляется на более глубоком личностном уровне. Согласно Хайдеггеру, герменевтика – «это базисная схема человеческого познания».

Критицизм Хайдеггера направлен против научной рациональности с ее техническим и технологическим воплощением. Несмотря на триумф научно-технических достижений, не они являются подлинно существенными.

Активной силой конституирования смысла, открытия мира является поэзия. В ней существенной должна быть передача определенного настроения как способа раскрытия истинной сущности бытия. «Язык является домом человека, а поэзия – нашим творческим воссозданием и актуализацией». В авангарде человечества находятся поэты, а не ученые или политики! – такова позиция Хайдеггера.

Поэтическое отношение к действительности предопределяет и гуманистическую направленность естественнонаучных исследований и технических решений!

**Фридрих Энгельс (1820-1895)** – автор незаконченного произведения «Диалектика природы», которое содержит в себе

разработки важнейших проблем диалектики естествознания (1873-1886 гг.).

Энгельс считал, что философия должна основываться на обобщении важнейших результатов не только общественных, но и естественных наук, которые могут плодотворно развиваться на основе диалектического материализма.

Энгельсу принадлежат слова о том, что философия есть теоретическое самосознание эпохи. Как любой человек имеет определенное суждение о себе, так и каждая историческая эпоха определенным образом выражает понимание самой себя. Философию интересует не столько мир сам по себе (этим занимаются конкретные науки), сколько отношение человека к миру, а еще точнее – совокупность этих отношений. Центральное место занимает вопрос о характере этих отношений, об отношении материи и духа. Этот вопрос Фридрих Энгельс назвал основным вопросом философии. Смысл его состоит в том, чтобы определить «точку отсчета» в философском учении, а таких точек три:

- *материализм* исходит из того, что ведущая, определяющая роль в отношении «материя-сознание» принадлежит материи, миру реальных вещей, а сознание отображает этот мир;

- *идеализм* считает, что главным, исходным в этом отношении является сознание, вообще духовное начало (это может быть бог, «абсолютная идея», «мировой дух»...);

- *дуализм* полагает материю и дух равноправными, как бы параллельно существующими.

Энгельс, исходя из первой «точки отсчета», развил диалектико-материалистическое учение о формах движения материи и разработал принципы классификации естественных наук. Многие положения, высказанные в «Диалектике природы», предвосхитили развитие естествознания вообще и физики в частности.

**Владимир Ленин (1870-1924)** – автор философского труда «Материализм и эмпириокритицизм», написанного в 1908 году и опубликованного в 1909 году. Это было начало XX века, когда в физике наметился своеобразный кризис: новые экспериментальные открытия и теоретические исследования решительно подрывали тот способ мышления, который господствовал в науке со времени зарождения классической механики.

Часть физиков и некоторые философы пришли к выводу, что утверждение новых физических принципов и понятий требует отказа не только от старых принципов мышления классической физики, но и от основных положений материализма. Распространялось мнение о том, что «материя исчезла, а остались одни уравнения».

Ленин показал, что революция в физике ломает не материализм, а старые, привычные, пришедшие в негодность принципы механистического мышления. Новая физика не может удовлетвориться старым, в общем-то довольно примитивном материализмом, так как ей нужен материализм, соединенный с диалектикой. Согласно Ленину, революция в физике – это не поражение, а победа материализма, но материализма обновленного, вобравшего в себя новые важные достижения науки. Материя, как объективная реальность не может исчезнуть, «исчезает тот предел, до которого мы знали материю до сих пор, наше знание идет глубже; исчезают такие свойства материи, которые казались раньше абсолютными, неизменными, первоначальными... и которые теперь обнаруживаются, как относительные, присущие только некоторым состояниям материи. Ибо *единственное* «свойство» материи, с признанием которого связан философский материализм, есть свойство *быть объективной реальностью*, существовать вне нашего сознания».

В соответствии с ленинским учением «электрон так же неисчерпаем, как и атом. Природа бесконечна!».

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ К ТЕОРИИ КВАНТОВЫХ ЯВЛЕНИЙ

Новые открытия проходили довольно безболезненно, когда они не затрагивали привычную основу наших взглядов на природу вещей.

Значительно труднее было принять новые воззрения, если они противоречили сложившейся *картине мироздания*. В 16 веке люди были готовы отправить на костер еретика, осмелившегося оспаривать тот очевидный факт, что Солнце движется вокруг неподвижной Земли. Мозг людей, как правило, протестует, когда их пытаются убедить в чем-то, что противоречит жизненному опыту. Особенно трудно было смириться с утверждениями, которые содержались в теоретической концепции, лежащей в основе квантовой физики!

Квантовая теория привела к радикальному изменению наших представлений о физическом строении материального мира. Она продемонстрировала удивительную закономерность в развитии науки о природе: Когда новая теория создается на основе правильного истолкования экспериментальных фактов, ее окончательная структура подчас не зависит от начальных (чаще интуитивных) представлений ее творцов, а то и входит в противоречие с ними!

«Драма идей» вокруг интерпретации физических основ квантовой теории не знает себе равной во всей истории развития физики!

Закончим свое повествование тремя высказываниями, считая их информацией к дальнейшим размышлениям!

- «Каждый школьник знаком теперь с истинами, за которые Архимед отдал бы жизнь». (Эрнест Ренан)
- «Что дополнительно понятию истина? Ответ: ясность». (Нильс Бор)
- «Несчастливы те люди, которым все ясно». (Луи Пастер)

Авторы настоящей книги осознают, что в словах отсутствуют (или не в полной мере присутствуют!) чувства, а поэтому написанное не всегда достаточно полно выражает *душевное состояние*! Федор Иванович Тютчев в известном смысле был прав, когда написал:

Как сердцу высказать себя?  
Другому как понять тебя?  
Как рассказать, чем ты живешь?  
Мысль изреченная есть ложь.

# ПОСЛЕСЛОВИЕ К ПЕРВОМУ РАЗДЕЛУ «ТРИДЦАТИЛЕТНЯЯ ВОЙНА» НИЛЬСА БОРА И ЕГО «СОЮЗНИКОВ» С ОБЫВАТЕЛЬСКИМ И НАУЧНЫМ «ЗДРАВЫМ СМЫСЛОМ»

С точки зрения «здорового смысла» частица – это маленький (в идеале точечный) «кусочек» вещества, который может двигаться по определенным, иногда «замысловатым» (но вполне воспринимаемым!) траекториям. А вот волна – это колебательный процесс сплошных сред и, естественно, сплошных (непрерывных!) полей, занимающих большой объем пространства (а в идеале все пространство).

Атом, молекула, мяч, планета и т. п. – это, безусловно, частицы. А вот свет, звук, колебания поверхности воды и т. п. – это, безусловно, волны.

Рассуждения в отношении всех этих объектов на основе альтернативы «или – или» с точки зрения «здорового смысла» уместны, а на основе диалектического «и – и», безусловно, абсурдны.

Из этой благополучной ситуации, которую можно образно представить как однородное поле непротиворечивых мыслей, первой «начала торчать» мысль об излучении, которое «отказывалось» быть только волной!?

Для устранения острого, необъяснимого противоречия между волновой теорией излучения и наблюдаемыми спектрами нагретых тел Макс Планк вынужден был постулировать «порционность» излучения, т. е. по сути дела непрерывную волну представил в виде «кусочков», обладающих определенной энергией  $E = h \nu$ ,  $\nu = c/\lambda$ .

Коэффициент пропорциональности между энергией «кусочка – кванта» и частотой волновых колебаний был назван квантом действия (впоследствии знаменитая постоянная Планка  $h = 6,6260753 \cdot 10^{-34}$  Дж\*с!).

В дальнейшем оказалось, что все физические величины, имеющие размерность действия, состоят из целого числа квантов  $h$ !

Существенным дополнением к «абсурдной» идее Планка о порционном испускании волнового излучения было объяснение Эйнштейном явление фотоэффекта. Суть этого эвристического объяснения состояла в том, что световые волны взаимодействовали с отдельными электронами вещества, как маленькие частички

(материальные точки) и их энергия  $E = h \nu$  поглощалась полностью, т. е. порциями.

Эйнштейн образно это явление описывал так: «Если пиво всегда продается в бутылках, содержащих пинту, откуда вовсе не следует, что пиво состоит из неделимых частей, равных пинте». А вот свет, как следует из опытов, состоит из неделимых частей, которые атом мог «глотать только целиком».

А что было известно об атоме? До 1897 года атом – неделимая частица вещества. До 1913 года об атомах были известны следующие фундаментальные экспериментальные факты:

- номер элемента в периодической системе Д. И. Менделеева равен положительному заряду ядра, в котором сконцентрирована почти вся масса атома;

- электроны находятся в состоянии стабильного движения, а потому «не падают» на ядро;

- излучение света атомом осуществляется конкретными порциями, энергия которых связана с частотой излучения в соответствии с формулой Планка;

- характеристические линии частот по закону  $\lambda = R (1/n^2 - 1/m^2)$  формируют серии Лаймана, Бальмера, Пашена, Фаулера, Пикеринга и др.

Все эти разрозненные закономерности связал воедино молодой стажер в лаборатории Резерфорда Нильс Бор, приехавший в Англию из Дании. В 1913 году он опубликовал три взаимосвязанные статьи под названием «О строении атомов и молекул».

«Послушаем» Леона Розенфельда, который многие годы был ассистентом, сотрудником и соратником Нильса Бора. В большой вводной статье к книге Нильса Бора (1963 г.) Розенфельд пишет: «Бор приехал в Манчестер в середине января 1912 года с определенными надеждами, но трезвым взглядом на вещи. Его пребывание в Кембридже было для серьезного и искреннего юноши источником горького разочарования. Отдавая себе отчет о важности своих идей, воплощенных в диссертации об электронной теории металлов, он тщетно пытался привлечь к ним внимание кембриджских физиков. Дж. Дж. Томсон быстро потерял интерес к предмету, не испытав удовольствия от того, что юный чужестранец указал на некоторые его ошибки, да и Джинс без особого энтузиазма реагировал на критику его взглядов по проблеме излучения твердого тела. Кембриджское философское общество сочло английский вариант диссертации слишком длинным и дорогим для публикации».

Осенью 1913 года корифеи классической физики (Рэлей, Лоренц, Джинс, Рамзай, Томсон) выслушали новый доклад Нильса Бора в Бирмингеме на заседании Британской ассоциации содействия развитию науки. Основное предположение Бора о том, что частота испускания и

поглощения света атомами не совпадает ни с одной из собственных частот движения электронов внутри атома, Резенфельд назвал «смелым до скандальности». По Бору в атоме имеют место особые стационарные орбиты, двигаясь по которым электрон (вопреки законам электродинамики!?) не излучает. Радиусы этих орбит следовали из правила квантования:

$$m v_n R_n = n \hbar, \text{ где}$$

$$n - \text{целые числа, а } \hbar = \frac{h}{2\pi}.$$

Доклад Нильса Бора был заслушан великими физиками внимательно, но отношение к нему было достаточно прохладным, так как доказательства и выводы не на основе прямых экспериментов, а косвенных данных были не в традициях британской науки. Смягчающим было высказывание лорда Рэля, который заметил, что ученые более шестидесятилетнего возраста не должны категорически отрицать новые идеи. Активно поддержал идеи Бора только один молодой математик С. Мак-Ларен, который успешно работал над фундаментальными проблемами науки того времени. Его безвременная гибель на полях сражений первой мировой войны была большой потерей для победного шествия новых научных идей.

Чтобы преодолеть классический «здравый смысл» ученых, Нильс Бор подготовил несколько статей и опубликовал их в журнале «Философический мэгэзин». Содержание научных статей было настолько убедительным и доказательно подробным, что положение существенно изменилось. Одним из первых признал революционный сдвиг в науке и значение научных идей Бора английский ученый Джинс. Он писал по этому поводу так: «Д-р Бор дал в высшей степени остроумное, плодотворное и – я думаю, следует добавить – убедительное объяснение закономерностей в спектральных линиях». Бор понимал всю важность своего открытия и впоследствии так оценивал ситуацию: «Только существование кванта действия  $h$  препятствует слиянию электронов с ядрами в нейтральную частицу практически бесконечно малого размера... Только оно дало полное объяснение замечательным зависимостям между физическими и химическими свойствами элементов – зависимостям, выраженным в знаменитой таблице Менделеева».

Идеи Бора, противоречащие классическому научному «здравому смыслу», первоначально не принятые большинством физиков, все больше и глубже «проникали в сознание» ученых. Этому способствовали объяснения серии Бальмера и вычисления постоянной Ридберга, что произвело сильнейшее впечатление на физиков. Очень смелым и достаточно неожиданным было прогностическое высказывание Бора о том, что серии Пикеринга и Фаулера принадлежат гелию.

Экспериментальное подтверждение не заставило себя долго ждать. Сотрудник лаборатории Резерфорда Эванс убедительно это показал.

Об этой экспериментальной проверке теории Бора Эйнштейн узнал осенью 1913 года от венгерского физика Хевеши при их встрече в Вене. Впоследствии Хевеши рассказывал, что Эйнштейн был потрясен тем, что частота света никак не зависит от частоты орбитального движения электрона в атоме. «Большие глаза Эйнштейна стали еще больше, – вспоминал Хевеши, – и он сказал мне: «Тогда это одно из величайших открытий».

В том же году, когда были опубликованы научные статьи Бора, немецкие ученые Франк и Герц предложили новый способ возбуждения атомов в отличие от общепринятого способа путем нагревания вещества. Новый способ возбуждения атомов состоял в бомбардировке ускоренными электрическим полем электронами, энергия которых определенными порциями передавалась атомным электронам, переводя их, как тогда считалось, на более удаленные от ядра орбиты. Возвращаясь в исходное состояние, электроны излучали световые энергетические порции – кванты. Все это очень убедительно согласовывалось с теорией Бора.

По сути дела эти научные открытия Бора были началом теоретической атомной физики (1913 г.).

Успехи теории Бора «сосуществовали» с конкретными трудностями, а именно:

– Постулат квантования орбит ниоткуда не следовал, а был лишь гениальной догадкой Бора.

– Оставалось непонятным, почему поле ядра действует на электрон, удерживая его на орбите, а электромагнитное поле самого электрона, имеющего заряд и движущегося ускоренно по орбите «никак себя не проявляет» (электрон не излучает электромагнитных волн вопреки законам электродинамики).

– Не нашла объяснения и двойственная природа света, хотя к этому времени квантово-волновой дуализм был твердо установленным фактом.

– Из теории Бора четко следовало только положение спектральных линий, а их интенсивность и яркость никак не объяснялись, так как механизма перехода электрона с одной орбиты на другую теория Бора не давала.

– Очень близкие парные линии (дуплеты) в спектрах излучения атома не находили объяснений ни в теории Бора, ни в уточняющей и развивающей ее теории Зоммерфельда.

– В некоторых случаях при объяснении спектров молекул теория приводила к ошибочным выводам.

Вместе с тем теория Бора дала мощный импульс новым экспериментальным и теоретическим исследованиям структуры атома.

Однако в 1914 году разразилась первая мировая война, и на полях сражений с разных сторон линии фронта оказались ученые, которые тесно сотрудничали в научных лабораториях. Во враждующих армиях воевали ученики Резерфорда Гейгер и Марсен, на полях сражений погиб молодой английский ученый Мак-Ларен, в свое время активно поддерживавший научные идеи Бора. Молодой военный радиотелеграфист Луи де Бройль практически использовал электромагнитные волны для передачи необходимой информации для частей французской армии.

С наступлением послевоенного мирного времени «военные» действия на научном поприще вспыхнули с новой силой. Но это были не разрушительные, а в высшей степени созидательные действия!

Опыты О. Штерна и В. Герлаха подтверждали теорию Бора, доказав реальность введенного Зоммерфельдом пространственного квантования атомных орбит, т. е. их расположения в различных плоскостях, которые прецессировали.

Бор плодотворно развивал свои идеи, детализируя менделеевскую систематику. На этой основе В. Костер и Д. Хевеши открыли новый химический элемент – гафний (1922 г.).

Расщепление спектральных линий в магнитном поле ни сам Бор и никто другой из великих физиков объяснить не могли.

Нужны были «юнцы-фантазеры», не обремененные «безапелляционностью» классической науки.

Сначала Р. Крониг, а затем Дж. Уленбек и С. Гаудсмит высказали «противоестественное» предположение о том, что электрон в атоме обладает не только орбитальным моментом количества движения, но и собственным «волчковым» (спиновым) и связанным с ним магнитным моментом. Эта идея была «принята в штыки» молодыми (что удивительно!) творцами квантовой теории. Против этой идеи (идеи спина!) возражали Крамерс, Гейзенберг и, особенно, 25-летний Паули, а 40-летний Нильс Бор эту идею принял и способствовал ее развитию. Позиция и аргументы Бора способствовали тому, что Паули также согласился признать «эту ересь» и на этой основе сформулировал свой, как оказалось, знаменитый теоретический принцип («принцип запрета»). Этот принцип был столь же универсален, как и правила квантования Бора, но глубокого понимания сути дела в то время, конечно, не было.

Новые экспериментальные исследования порождали и новые познавательные противоречия. В опытах А. Комптона (1923 г.) кванты электромагнитного излучения (рентгеновского) взаимодействовали с отдельными электронами как бильярдные шарики. Кванты-частицы часть своей энергии передавали электронам, сообщая им строго определенные энергии и импульсы. Электромагнитная волна

рентгеновского излучения при взаимодействии с электронами вела себя как поток частиц. Противоречие «волны-частицы» обострялось. По этому поводу великий голландский физик Г. А. Лоренц с огорчением говорил следующее (1924 г.): «Я сожалею, что не умер пять лет назад, когда этого противоречия еще не было. Тогда я умер бы в убеждении, что раскрыл часть истины в явлениях природы». Заметим, что пять лет назад, это до 1900 года, когда впервые было произнесено слово «квант».

В начале двадцатого века ученые постепенно и мучительно «привыкали» к квантово-волновому дуализму «волна-частица». А вот мысль о том, что и частицы могут проявляться, как волны, могла прийти в голову, точнее родиться в голове, только «сумасшедшего». Таким «сумасшедшим» оказался тот молодой военный радиотелеграфист, который в годы первой мировой войны служил во французской армии, а теперь с большим энтузиазмом занялся научными исследованиями. Имя этого ученого Луи де Бройль. Большинство физиков отнеслись к идее де Бройля примерно так, как и его научный руководитель П. Ланжевен, восторгаясь «вздорными идеями» своего диссертанта. А Эйнштейн рекомендовал М. Борну диссертацию де Бройля такими словами: «Прочтите ее. Хотя и кажется, что написал ее сумасшедший, написана она солидно».

Картина симметризовалась: наряду с проблемой «волна-частица» во всем своем величии встала новая проблема «частица-волна»!

Смелая мысль де Бройля оказалась не только новой, но и универсальной. Волна де Бройля длиной  $\lambda = h/mv$  связывалась с любой частицей массой  $m$ , движущейся со скоростью  $v$ !

В 1927 году волновые свойства движущихся электронов были экспериментально подтверждены в опытах К. Дэвиссона и Л. Джермера, а также независимо от них в опытах Дж. П. Томсона. Полученные дифракционные картины электронов – убедительное тому свидетельство!

Опыт – упрямая вещь! А он говорит о том, что частицы обладают волновыми свойствами! Но что представляют собой эти волны де Бройля? Что это такое? На этот вопрос не знал ответа ни сам де Бройль и никто другой. Недостатка в предположениях не было, но все они оказались не состоятельными.

Двуликость и волн, и частиц была налицо. Интерференция и дифракция волн, с одной стороны, фотоэффект и эффект Комптона, с другой; красивая траектория электрона в камере Виньсона, с одной стороны и дифракционная картина электронов, напоминающая лауэграмму, с другой, «заставляют» мыслить в стиле «и – и», а не «или – или»!

Уравнение Шредингера и принцип неопределенности Гейзенберга (1926-1927 гг.) позволили выполнять математические расчеты, результаты которых согласовались с экспериментами. Шредингер и

Гейзенберг подошли к теоретическому исследованию квантовых объектов (квантонов) с разных математических позиций. Первый исходил из теории дифференциальных уравнений в частных производных, а второй – из матричной алгебры. Результаты гармонически сошлись, в математическом отношении «все стало на свои места».

Однако понимание сущности физической ситуации оказалось достаточно трудным и для корифеев науки. Прекрасно подготовленный в физике и математике ученый А. Зоммерфельд в то время так оценивал сложившуюся ситуацию: «Из двух великих достижений физики XX в. – теории относительности и квантовой теории атома – до недавнего времени последнее благодаря своей наглядности казалось превосходным, тогда как первому ставились в упрек абстрактное изложение и математическая сложность. Квантовая теория дала нам красивую модель атомной планетной системы со своими кеплеровыми законами и правильным порядком в оболочках, тогда как теория относительности пригласила нас в четырехмерное пространство, где угостила жестковатым блюдом из тензоров разного ранга и символов Кристоффеля. Но теперь эти теории поменялись местами. Сегодняшняя квантовая механика ставит перед абстракцией, возможно, еще более высокие требования, чем общая теория относительности... Один остроумный американский физик как-то сказал: «В старой теории мы многое могли объяснить, но немного рассчитывать. Сегодня немного можем объяснить, но многое можем рассчитывать». По поводу поведения электрона-квантона венгерский физик Ф. Каройхази писал: «Кентавр человеку кажется лошастью, а лошади человеком... Электрон шарiku представляется волной, волне – шариком».

Понимание физической сущности волновой функции в уравнении Шредингера, которое описывает поведение квантона, началось с объяснений Макса Борна: Квадрат модуля волновой функции пропорционален плотности вероятности найти исследуемую микрочастицу – квантон, локализованную в области пространства вблизи конкретной точки. Стало ясно, что с частицей – квантоном сопряжена не материальная волна, а волна вероятности!

Великий физический принцип дополнительности, сформулированный Нильсом Бором, снял «головную боль», связанную с проблемой «волна или частица», «частица или волна».

Бор убедительно отстаивал точку зрения, сущность которой заключалась в замене «или» на «и»: волновые свойства микрообъектов не вместо корпускулярных, а в дополнение к ним и наоборот!

Этот фундаментальный физический принцип стал уже общенаучным:

- физическая картина мира (ФКМ) является эпицентральной в естественнонаучной картине мира;
- социально-гуманитарная картина мира не вместо ФКМ, а в дополнение к ней;
- научно-техническая картина мира не вместо ФКМ, а в дополнение к ней;
- религиозная картина мира не вместо ФКМ, а в дополнение к ней.

Подробно об этом во втором разделе, посвященном картинам мира.