

ЭРВИН ШРЕДИНГЕР И НОВЫЕ ПУТИ РАЗВИТИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ НАУКИ МИКРОМИРА

Баранов М.И., д.т.н.

НИПКИ "Молния" Национального технического университета

"Харьковский политехнический институт"

Украина, 61013, Харьков, ул. Шевченко, 47, НИПКИ "Молния" НТУ "ХПИ"

тел. (057) 707-68-41, факс (057) 707-61-33, e-mail: nipkimolnija@kpi.kharkov.ua

Наведено короткий науково-історичний нарис про Ервіна Шредингера – засновника хвильової механіки, її основних фізичних ідей та значущості для сучасного наукового знання.

Приведен краткий научно-исторический очерк об Эрвине Шредингере – основателе волновой механики, ее основных физических идей и значимости для современного научного знания.

*120-летию со дня рождения "отца"
волновой механики – Эрвина Шредингера
посвящается.*

1. НАЧАЛО ЖИЗНЕННОГО И НАУЧНОГО ПУТИ

Родился Эрвин Шредингер 12 августа 1887 года в Вене, бывшей тогда столице австро-венгерской империи (монархии). Отцом Эрвина был Рудольф Шредингер – владелец фабрики по производству клеенки, который в венских кругах буржуа слыл деловым, высокообразованным и культурным человеком. Мать Эрвина – дочь австрийского химика А. Бауэра, была хорошо воспитанной женщиной, окружавшей своего сына заботой, теплотой и вниманием. До 1898 года Эрвин общеобразовательной подготовкой занимался дома. Затем он поступил в престижную венскую Академическую гимназию [1]. Здесь Эрвин получил среднее образование с упором на такие языки как латынь и греческий. Для просветительского и общеобразовательного дела в части методологии учебной подготовки нашего молодого поколения важно отметить, что согласно историческим данным обучение в этой гимназии было ориентировано на развитие у своих учеников логического мышления и аналитических способностей. Эрвин в каждом классе гимназии был первым учеником. Любимыми предметами для молодого гимназиста Шредингера стали математика и физика. Осенью 1906 года для продолжения своего образования он поступил в Венский университет. К этому времени этот университет имел выдающиеся научные традиции в области физики: здесь в Физическом институте при данном учебном заведении в свое время работали такие известные ученые как Йозеф Лошмидт, Йозеф Стефан и Людвиг Больцман. На определенный период научным наставником Эрвина Шредингера стал физик-экспериментатор из упомянутого выше института при Венском университете Франц Экснер. Как талантливый педагог Ф. Экснер стремился развивать творческие способности своего одаренного ученика. Влияние этого ученого и педагога на Эрвина было глубоким и достаточно продолжительным. Не случайно в недалеком будущем свои первые шаги в науке Эрвин Шредингер сделал в тех областях, где работал именно Ф. Экснер: в области атмосферного электричества, метеорологии и физиче-

ского учения о цвете [1]. В 1907 году на втором курсе обучения в университете для Э. Шредингера стало ясно, что его все же больше интересует не экспериментальная, а теоретическая физика.



Эрвин Шредингер (1887–1961)

Далее молодой студент – Эрвин Шредингер становится "под крыло" Фридриха Газенорля, выдающегося представителя венской школы физиков, ставшего на кафедре теоретической физики Венского университета настоящим преемником и продолжателем дела Л. Больцмана. Кстати, Ф. Газенорль, который на год раньше, чем немецкий физик-теоретик Альберт Эйнштейн, ввел понятие "кажущейся массы излучения", предвосхитившее принцип эквивалентности массы m физического тела и его энергии E и соответственно получение известной всем нам формулы $E = m \cdot c^2$, где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света в вакууме, оказал сильное влияние на формирование Э. Шредингера как ученого [1]. Безвременный уход из жизни Ф. Газенорля (его гибель в последующем на поле сражений первой мировой войны) прервала их научные контакты. Вот что

позже вспоминал о тех студенческих годах и о молодом Эрвине Шредингере ставший профессором Венского университета Ганс Тирринг, хорошо знавший нашего героя со времени его учебы в Венском университете и возглавлявший на протяжении ряда лет австрийский Институт теоретической физики [1]: "...Задолго до того, как Шредингер стал "отцом волновой механики", его близким друзьям было совершенно ясно, что от него следует ожидать выдающихся достижений. Мы видели в нем "дух огня" за работой, трудившийся с полной отдачей и разрушавший границы между отдельными областями, чтобы самостоятельно и по-новому поставить вопросы перед природой". Все это для Э. Шредингера было еще впереди. Пока же он настойчиво оттачивал свои математические и физические знания, основательным образом изучая математические методы физики. Этот его жизненный период может служить для нас и, прежде всего, для молодежи, стремящейся найти свое "место" в науке, примером того, что человеческий талант может добиться многого только в сочетании с незаурядным упорством и большой работоспособностью.

Известно, что обучение в ту пору в университете обычно заканчивалось защитой докторской диссертации. У Э. Шредингера диссертационная тема называлась так: "Электрическая проводимость на поверхности изоляторов во влажном воздухе" [3]. Эта работа носила экспериментальный и чисто электротехнический характер и была связана с исследованием влияния влажности воздуха на электропроводность таких изоляционных материалов как стекло, эбонит и янтарь. В мае 1910 года после успешной защиты диссертации Э. Шредингеру была присуждена ученая степень доктора философии. После годичной военной службы в австрийской армии Э. Шредингер с 1911 года и до 1920 года со значительным перерывом на время первой мировой войны (с 1914 по 1918 годы он прослужил, как у нас говорят "ни шатко, ни валко", офицером – артиллеристом в военных частях австрийской армии) проработал во Втором физическом институте Венского университета. Начинал он свою работу здесь с должности ассистента, а закончил ее приват-доцентом вышеназванного университета. В этот начальный период своей научно-педагогической деятельности он занимался изучением диэлектриков [4], кинетической теорией магнетизма [5], атмосферным электричеством [6], распределением излучения и содержания радия в атмосфере [7] и теорией аномальной электрической дисперсии [8]. Далее круг его научных интересов все расширялся: это теория интерференционных явлений [9] и теория эффекта Дебая [10]. В 1917 году Э. Шредингер обращается к вопросу об атомных и молекулярных теплоемкостях [11]. Вскоре он рассматривает компоненты энергии гравитационного поля и производит ряд уточнений в "эйнштейновской" теории гравитации [12]. Это побудило самого А. Эйнштейна откликнуться на эту публикацию молодого австрийского физика. Глубоко постигнув тонкости общей теории относительности, Э. Шредингер оказался одним из первых физиков, осмыслившим революционность положений теории относительности А. Эйнштейна. В 1919–1922

годы Эрвин Шредингер издает в известных научных журналах цикл работ, посвященных теплоемкости твердого тела [13]. Заметим, что как ни почетна для Э. Шредингера была приват-доцентура в Венском университете, однако она не оплачивалась. Жалование же университетского ассистента было скудным и тогда. Поэтому для большего денежного заработка ему необходимо было создать себе имя в научном мире и получить учебную кафедру. Еще осенью 1918 года после возвращения с военной на гражданскую службу Э. Шредингеру представилась возможность занять должность экстраординарного профессора кафедры теоретической физики в университете, входившего тогда в состав австро-венгерского государства, Черновцы (ныне Украина). Однако последовавший вскоре распад Габсбургской империи и создание новых европейских государств помешал осуществлению этих планов Эрвина. В 1920 году он переезжает в Германию для работы в должности доцента кафедры теоретической физики и ассистента известного немецкого физика Макса Вина в Йенском университете. Вскоре (всего через четыре месяца) Э. Шредингер оставляет Йену и направляется в пределы Германии в Штутгарт для того, чтобы занять здесь пост экстраординарного профессора в Высшей технической школе. Для него настало время, когда многие зарубежные университеты стремились привлечь к себе для учебной и научной работы талантливого физика. К началу 1921 года он приступает уже к работе в университете Бреслау (ныне польский Вроцлав – европейский центр по электромагнитной совместимости). А летом 1921 года Э. Шредингер получает из Цюрихского университета (Швейцария) приглашение возглавить кафедру теоретической физики, которую до него занимали такие выдающиеся немецкие физики как Альберт Эйнштейн и Макс фон Лауэ. Став в конце лета 1921 года профессором одного из самых престижных университетов Европы, Э. Шредингер на целые шесть лет занял высокий по должности и денежному окладу академический пост в Цюрихе и получил долгожданную возможность для продолжения активной научной работы, увековечившей за этот "цюрихский период" его имя в анналах мировой науки.

Несмотря на указанный выше "буquet" научных интересов и работ Э. Шредингера, центральное же место в его научном творчестве, практически начиная с "цюрихского периода" научной деятельности, занимают работы по квантовой механике или, если более точно сказать, по волновой механике. Напомним, что квантовая механика, как раздел атомной физики, изучает физические явления и процессы микромира. Под микромиром, согласно современным представлениям о строении вещества, понимается совокупность объектов, линейные размеры которых порядка 10^{-8} м и менее [14, 15]. Данные работы Э. Шредингера находились в русле фундаментальных работ таких великих европейских физиков-теоретиков как Макс Планк, Альберт Эйнштейн, Нильс Бор, Луи де Бройль и Вернер Гейзенберг. Прежде, чем приступить к выяснению физико-математического содержания пионерских работ Эрвина Шредингера по волновой механике, постараемся хоть вкратце изложить то положение, которое сложилось в атомной и квантовой фи-

зике к началу его (нашего героя) принципиально новых и фундаментальных исследований в области физической науки о микромире. Читателю при этом необходимо набраться терпения и не следует упускать из виду то важное обстоятельство, что физическая наука о микромире вещь сама по себе весьма сложная и тонкая как сам атом – этот "кирпичик мироздания", а сам микромир был и будет всегда оставаться для человечества "тайной за семью печатями". И только иногда и для некоторых Природа свое "окошко" в этот микромир на мгновение приоткрывает и таким путем наш "взор" или "полет воображения" проникает в ее "святая святых", а человечество, таким образом, по чуть-чуть и шаг за шагом узнает и тут же мгновенно обсуждает в научных кругах и многократно перепроверяет в научных лабораториях некоторые из его бесконечных тайн и загадок.

2. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОСТОЯНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ НАУКИ МИКРОМИРА ДО РАБОТ ЭРВИНА ШРЕДИНГЕРА ПО ВОЛНОВОЙ МЕХАНИКЕ

В 1913 году благодаря, прежде всего, неопровержимым результатам экспериментальных исследований в области атомной физики, в частности, данным по прохождению положительно заряженных α -частиц (ядер атома гелия) через металлические пластинки и открытию атомного ядра, полученным в Манчестере (Англия) лауреатом Нобелевской премии за 1908 год по химии Эрнстом Резерфордом и его учениками, миру была в окончательном виде предложена планетарная модель атома вещества, содержащего в своем центре положительно заряженное ядро, вокруг которого по круговым орбитам подобно планетам солнечной системы вращались отрицательно заряженные элементарные частицы – электроны [14, 15]. Вот как сам Э. Резерфорд представлял себе уже в 1911 году строение атома вещества [14]: *"...Рассеяние заряженных частиц может быть объяснено, если предположить такой атом, который состоит из центрального электрического заряда, сосредоточенного в точке и окруженного однородным сферическим распределением противоположного электричества равной величины"*. Интересно, что до самого 1913 года Э. Резерфорд знак электрического заряда ядра атома считал для себя неопределенным. Кстати, напомним читателю, что термин "электрон" (от гр. *elektron* – янтарь) в физику был введен в 1891 году ирландским физиком Джонстоном Стонейем, а экспериментально открыт электрон был выдающимся английским физиком Джозефом Томсоном в 1897 году при исследовании прохождения катодных лучей (потока отрицательно заряженных частиц) через разряженные газы [15]. Отметим и то, что катодные лучи были открыты, в свою очередь, в 1879 году английским ученым Вильямом Круксом, изучавшим явление газового разряда в стеклянной трубке низкого давления (в современной терминологии – в газоразрядной трубке) [15]. Далее заметим, что электрический заряд электрона e_0 с точностью до 1% был определен опытным путем американским физиком Робертом Милликеном лишь в 1917 году при помощи

так называемого "милликеновского конденсатора" [14, 15]. Электрический заряд мелкодисперсных взвешенных и медленно перемещающихся в ионизированном воздухе между плоскими обкладками заряженного постоянным напряжением "милликеновского конденсатора" капелек минерального масла в опытах Р. Милликена был всегда кратен величине $e_0 = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл, которая и была приписана элементарному заряду электрона. За эти исследования Р. Милликен в 1923 году был удостоен Нобелевской премии по физике. Принципиально важно подчеркнуть то, что в настоящее время существование в природе элементарного электрического заряда и равного e_0 – своего рода "атома электричества" считается фактом твердо установленным [15].

Возвращаясь снова к упомянутой атомной модели, отметим, что при этом в планетарной модели атома Э. Резерфорда положительный электрический заряд ядра, несущего почти всю массу атома и содержащего элементарные частицы – протоны, численно совпадал с атомным порядковым номером Z химического элемента в периодической системе элементов Д.И. Менделеева, согласно которой *"...химические свойства элементов периодически повторяются"* [16]. Данный фундаментальный закон природы был открыт русским ученым в 1869 году [14]. Первоначально в основу этого закона и соответственно построения периодической системы химических элементов была положена их атомная масса. Забегая немного вперед, отметим, что в 1922 году великим датским физиком Нильсом Бором было установлено, что в основе систематики химических элементов лежит не атомная масса элементов, а положительный электрический заряд ядра их атомов, равный $e_0 \cdot Z$ [16]. Получалось, что, если атом электрически нейтрален, то число электронов в атомной оболочке было также равно Z . Физико-химические свойства элементов зависели от числа электронов в атомной оболочке, а их чисто химические свойства определялись периферийными (внешними) электронами соответствующих атомов. Не безынтересно отметить и то, что существование элементарных положительных зарядов в атоме вещества было экспериментально доказано еще в 1886 году немецким физиком Евгением Гольдштейном. В его опытах с газоразрядной трубкой, в которой дисковый катод был выполнен с рядом отверстий, в процессе электрического разряда между ее металлическими электродами – катодом и анодом из каждого отверстия в катоде вылетал узкий светящийся пучок лучей, названных каналовыми. Эти опыты показали, что каналовые лучи представляют собой поток летящих к катоду положительно заряженных частиц, возникающих в газоразрядной трубке при ионизации электрическим разрядом заполняющего ее газа. В случае, когда газоразрядная трубка заполнялась водородом, Е. Гольдштейном было установлено, что такой заряженной частицей является потерявший отрицательный заряд атом водорода, названный "протоном" (от гр. *protos* – первый). Согласно современным данным масса покоя положительно заряженной элементарной частицы протона m_p оказалась примерно

равной $m_p = 1836 \cdot m_e$, где $m_e = 9,108 \cdot 10^{-31}$ кг – масса покоя электрона [16].

Э. Резерфорд, работая с 1919 года директором знаменитой Кавендишской научной лаборатории в Кембридже (Англия), после открытия им там искусственного превращения за счет ядерных реакций химических элементов, интуитивно предсказал существование в ядрах атомов вещества электрически нейтральной элементарной частицы, равной по массе ядру атома водорода. Позже, в 1932 году такая частица, названная "нейтроном" (от лат. *neutrum* – ни то, ни другое), была открыта его учеником – английским физиком Джеймсом Чэдвигом. Его масса покоя m_n , согласно современным результатам измерений, равна $m_n = 1839 \cdot m_e$ [16]. По существу, согласно предложенной Э. Резерфордом планетарной модели атома, получалось, что микромир, которым является каждый атом вещества, подобен макромиру (например, солнечной системе). Только в этом микромире вместо законов классической механики, в основном, открытых еще в XVII веке гениальным английским ученым Исааком Ньютоном, действуют электродинамические (кулоновские) и ядерные силы притяжения и отталкивания, описываемые законами атомной физики. Тем не менее, основным недостатком указанной выше планетарной модели атома Э. Резерфорда было то, что электрон, движущийся в атомной оболочке с постоянным центростремительным ускорением в соответствии с законами классической электродинамики, как и любой другой перемещающийся с ускорением электрический заряд, должен был излучать электромагнитную энергию. А раз так, то подобная атомная система должна была быть энергетически неустойчивой и быстро распадающейся, что противоречило действительности.

В богатом научными событиями 1913 году датский физик Нильс Бор опубликовал свои три знаменитые статьи на общую тему "О строении атомов и молекул" [14], положившие начало нового научного направления в атомной физике – квантовой механике и появлению квантовой модели атома вещества. Из истории атомной физики известно, что предложенная им новая планетарная модель атома базировалась на так называемых постулатах Бора, то есть на "аксиоме целочисленности" внутриатомных процессов или на целочисленной точке зрения теории дискретных квантов (от лат. *quantum* – количество) действия Макса Планка, за открытие которых последнему в 1918 году была присуждена Нобелевская премия по физике [14, 17]. При этом для большей ясности подчеркнем сущность основной идеи М. Планка: он показал, что испускание (поглощение) твердым телом (веществом) теплового излучения происходит не непрерывным образом, как ранее предполагалось в классической физике, а в виде отдельных порций или квантов энергии E_k , равных произведению их частоты ν на некоторую постоянную h , впоследствии названную постоянной Планка ($h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с [16]). Развивая эту идею немецкого физика М. Планка, Н. Бор выдвинул гипотезу о том, что прерывному характеру испуска-

ния (поглощения) атомами квантов энергии должен соответствовать скачкообразный характер перехода атомов из одного энергетического состояния в другое. Согласно этой гипотезе Н. Бор предположил, что любой атом может находиться в дискретном ряде стационарных состояний, не сопровождающихся электромагнитным излучением. Переход же атома из нормального в возбужденное состояние, по его мнению, может происходить только путем поглощения кванта света (фотона) соответствующей величины и перехода его электрона с близлежащей к ядру орбиты на удаленную от него, а из возбужденного состояния в нормальное – путем испускания подобного кванта энергии и перехода соответствующего электрона с удаленной на близлежащую к ядру орбиту [16, 17]. В соответствии с работами Н. Бора о строении атома следовало, что атом поглощает и излучает электромагнитную энергию квантами.

Квантовые идеи Н. Бора получили свое экспериментальное подтверждение в знаменитых опытах Франка – Герца от 1914 года по обнаружению дискретных возбужденных состояний для ряда атомов и определению энергии их ионизации [14, 16]. Результаты этих экспериментов немецких физиков Джеймса Франка и Густава Герца прямо показали, что энергия атомов изменяется дискретно. Например, для атомов ртути поглощаемая порция (квант) энергии для их возбуждения и испускаемая потом при обратном переходе атома ртути из возбужденного состояния в основное составляет 4,9эВ ($7,85 \cdot 10^{-19}$ Дж), что соответствует энергии кванта ультрафиолетового света длиной волны в 253,6нм. За эти многолетние исследования в 1925 году Д. Франк и Г. Герц были удостоены Нобелевской премии по физике. С помощью предложенной Н. Бором квантовой модели атома можно было определять орбитальную скорость электронов, радиус их орбиты, а также энергию и частоту квантов излучения. Данная модель хорошо себя зарекомендовала при описании внутриатомных явлений для простейшего из атомов – атома водорода, вокруг ядра которого по круговой орбите движется единственный электрон. Теория атома Н. Бора позволила правильно описать экспериментально наблюдаемые длины волн (частоты) для известных линейчатых спектров атома водорода (серия Лаймана, Бальмера, Пашена, Брекета и Пфунда) [16]. Для научной общественности становилось ясным, что квантовая механика не просто физическая наука о микромире, а основа всего современного научного знания. Однако она (атомная теория Н. Бора) в своем первоначальном виде не смогла объяснить многие другие экспериментальные данные атомной физики (например, расщепление спектральных линий атомов в сильном электрическом поле – эффект Штарка или в сильном магнитном поле – эффект Зеемана и др.) [14, 16].

В 1915 году известный немецкий физик Арнольд Зоммерфельд, развивая теорию атома Н. Бора, в атомную физику ввел идею пространственного квантования [14, 18]. Он предположил, что движение электронов в атоме происходит не только по круговым, но и по эллиптическим орбитам. Для этого им дополнительно к главному квантовому числу $n = 1, 2, 3, \dots$, со-

ответствующему номеру периода атома в периодической системе химических элементов Д.И. Менделеева или порядковому номеру круговой орбиты электрона и полностью определяющему энергию электронов в атоме, было введено орбитальное квантовое число $l = n - 1$, характеризующее форму орбиты электрона в атомной оболочке. Теория атома Н. Бора в 1917 году была уточнена и немецким физиком Альбертом Эйнштейном, удостоенным в 1922 году Нобелевской премии по физике. Данное уточнение последний осуществил на квантовых началах путем введения предположений о вероятности различных самопроизвольных и вынужденных переходов электронов в атомах [16, 17]. Для характеристики электромагнитных свойств электрона в атоме в 1925 году А. Зоммерфельдом было введено третье квантовое число – магнитное квантовое число $m_l = \pm l$, характеризующее ориентацию плоскости электронной орбиты в трехмерном пространстве. Теория Бора – Зоммерфельда давала правильное описание энергетических уровней для водородоподобных атомов и атомов, имеющих один валентный электрон (электрон, находящийся на внешнем энергетическом уровне атома).

Несмотря на все это, усовершенствованная квантовая модель атома Н. Бора, удостоенного также, как и А. Эйнштейн, в 1922 году за работы в области квантовой механики Нобелевской премии по физике, была не в состоянии правильно объяснить и описать внутриатомные процессы в более сложных, чем атом водорода, многоэлектронных атомах (например, рассеяние электронов атомами, интенсивность и поляризацию спектральных линий сложных атомов, аномальный эффект Зеемана и др.) [14, 16]. Было видно, что при всех своих успехах квантовая теория атома, разработанная Н. Бором и уточненная А. Зоммерфельдом, имеет и серьезные недостатки принципиального характера. История развития мировой физической науки показала, что метод квантования Бора – Зоммерфельда являлся переходным этапом к последовательной квантовой теории, основанной на волновой природе любого вещества. Кроме того, квантовая прерывность в атомной физике подрывала представление об однозначной обусловленности (детерминированности) явлений микромира. Это привело к представлению о господстве в них (этих внутриатомных явлениях) случайности. Трудности и противоречия к началу второй четверти XX века в атомной физике и соответственно в квантовой механике накопились и обострились. Физикам-теоретикам и физикам-экспериментаторам казалось, что сама атомная физика зашла в тупик. Ученым предстояло искать выход из создавшегося сложного положения в квантовой физике и соответственно в физической науке микромира.

3. СОЗДАНИЕ ВОЛНОВОЙ МЕХАНИКИ – НАУЧНЫЙ ПОДВИГ ЭРВИНА ШРЕДИНГЕРА

Историки науки отмечают, что "цюрихский период" (1921–1927 годы) был для Э. Шредингера важнейшим в его становлении как ученого [1]. Именно в эти годы он из одаренного ученого вырос в крупнейшего физика-теоретика своего времени. Именно эти

годы и стали кульминационными в научном творчестве Э. Шредингера. Одним из определяющих истоков его будущих работ по нерешенным атомным проблемам явились исследования французского ученого Луи де Бройля, выполненные и опубликованные им в 1923 году и связанные с развитием идеи о переносе корпускулярно-волнового дуализма света (его двойственности как частицы и как волны), постулированной еще в 1905 году А. Эйнштейном в своей теории фотоэффекта, на микрочастицы твердого тела (вещества), обладающие массой покоя. В 1924 году молодой Л. де Бройль в своей докторской диссертации на тему "*Исследования по теории квантов*" четко сформулировал одну важнейшую и весьма плодотворную идею о том, что катодные лучи в газоразрядной трубке (при этом мы не забываем того, что, как выше отмечалось, эти лучи являются потоком электронов) так же, как и световые лучи, имеют дуалистическую природу, то есть одновременно являются как частицами, так и волнами особого рода. На основании этой идеи Л. де Бройль получил широко известное классическое соотношение для длины волны λ_e нерелятивистского электрона: $\lambda_e = h / m_e \cdot v_e$, где v_e – скорость электрона, равная групповой скорости волн де Бройля. В ходе этих своих теоретических исследований Л. де Бройль нашел, что именно групповая скорость микрочастицы (электрона) как волны совпадает со скоростью материальной точки, движущейся по законам классической механики. В свое время он написал [14]: "*...Дифракционные явления обнаруживаются в потоке электронов, проходящих сквозь достаточно малые отверстия. Быть может, экспериментальное подтверждение наших идей следует искать в этом направлении*". Несколько нарушая хронологию событий, отметим, что в 1928 году немецкий ученый Рупп, исследуя на кристаллах именно дифракцию катодных лучей, подтвердил достоверность этой формулы Л. де Бройля для λ_e . Кстати, за эти работы в 1929 году Л. де Бройль был удостоен Нобелевской премии по физике. Заметим, что он не ограничился введением понятия электронных волн. Л. де Бройль применил это понятие для объяснения существования "боровских" стационарных энергетических состояний (орбит) в атоме и показал, что на n -й круговой орбите электрона в атоме Бора должно уместиться целое число его (электрона) стоячих волн (волн де Бройля) [14, 16]:

$$2\pi \cdot r_{en} = n \cdot \lambda_{en} = n \cdot h / m_e \cdot v_{en}, \quad (1)$$

где r_{en} – радиус n -й круговой стационарной орбиты электрона в атоме; λ_{en} – длина волны де Бройля на n -й круговой стационарной орбите электрона; $v_{en} = e_0^2 / 2 \cdot n \cdot \varepsilon_0 \cdot h$ – скорость электрона на его n -й круговой стационарной орбите; $\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – электрическая постоянная; $n = 1, 2, 3, \dots$ – целое число, равное порядковому номеру электронной орбиты в атоме по мере ее удаления от его ядра.

Условие (1) Л. де Бройля точно совпадало с априорным условием квантования в первом постулате Н. Бора [16]. По Л. де Бройлю получалось, что всякой микрочастице с массой покоя, имеющей импульс (ко-

личество движения) и энергию, приписывалась еще и некоторая частота (длина волны). Хотя благодаря такой гипотезе Л. де Бройля к 1925 году впервые удалось правдоподобно объяснить атомную модель Н. Бора, научный мир, однако, еще не был готов принять волновые свойства частиц микромира как физическую реальность. Большинство физиков считало, что Л. де Бройль "хватил через край" [1, 14]. После беглого знакомства летом 1925 года Э. Шредингера с диссертацией Л. де Бройля он проникся той мыслью, что электрон, вращающийся вокруг ядра атома в планетарной модели Н. Бора, может быть описан некоторой "стоячей волной". В ноябре 1925 года он уже писал [19]: "...В эти дни я вплотную занимаюсь талантливой диссертацией де Бройля. Она чрезвычайно занимательна". В качестве одного из основных исходных положений своей новой волновой теории Э. Шредингер как раз и использовал приведенные выше квантовомеханические идеи Л. де Бройля. При построении новой атомной теории, какой являлась волновая механика, Э. Шредингер рассматривал атом вещества как некоторую колебательную систему, в которой ее возможные собственные колебания отождествлял с устойчивыми энергетическими состояниями в этом атоме. Эту основную физическую идею ему удалось сформулировать как задачу о собственных значениях некоторого линейного дифференциального уравнения второго порядка, описывающего поведение электрона в атоме вещества. При этом он опирался на законы классической теоретической механики, сформулированные еще в XIX веке известным ирландским ученым Уильямом Гамильтоном [14]. Кроме того, принято считать, что важным моментом в истории создания волновой механики Э. Шредингером явилось одно существенное замечание известного немецкого физика Петера Дебая о том, что "...геометрическая оптика является частным случаем волновой оптики в пределе бесконечно малых длин волн" [1, 14]. Историки науки отмечают, что именно указанные нами выше идеи Л. де Бройля, классические результаты У. Гамильтона в области аналитической механики и вышеуказанное умозаключение П. Дебая в комплексе подвели Э. Шредингера к формулировке того нового подхода, которым он и воспользовался. В этом подходе основной идеей, обозначенной Э. Шредингером, явилось то, чтобы математическую аналогию между оптикой и механикой распространить на волновые свойства объектов их изучения – соответственно света и физических тел, включая микрочастицы с массами покоя. В этом случае классическая механика им рассматривалась как аналог геометрической оптики. Вот что сам Э. Шредингер писал по данному вопросу [1]: "...Быть может, наша классическая механика представляет полную аналогию с геометрической оптикой и подобно последней отказывается служить и не согласуется с действительным положением вещей при размерах и радиусе кривизны траекторий, приближающихся по величине к некоторой длине волны, которая теперь принимает реальный смысл. Тогда целесообразно попытаться построить волновую механику и первым шагом на этом пути является, конечно, волновое

истолкование представлений Гамильтона". Из такой аналогии следовало, что классическая механика описывает траекторию больших частиц (макрообъектов), имеющих очень малую по сравнению с их размерами длину волны де Бройля. Для малых же частиц (микрообъектов), длиной волны де Бройля которых нельзя пренебрегать по сравнению с их размерами, закон движения таких микрочастиц должен описываться уравнением, аналогичным волновому уравнению в оптике.

Здесь надо указать то, что в 1925 году выдающийся немецкий физик Вернер Гейзенберг в отечественном журнале "Zeitschrift für Physik" опубликовал свою фундаментальную работу "О квантовомеханическом истолковании кинематических и механических соотношений" [14, 20], в которой им были заложены физические основы матричной механики (в дальнейшем большой вклад в развитие этого направления квантовой физики внесли известные немецкие физики Макс Борн и Паскуаль Йордан). Основная идея этой работы заключалась в том, что в физической науке микромира необходимо интересоваться и заниматься не экспериментально ненаблюдаемыми величинами (например, периодом обращения электрона вокруг ядра атома), а теми физическими величинами, которые можно опытно измерить (например, интенсивностью спектральных линий излучения атома вещества). Э. Шредингер, безусловно, был знаком с подобным направлением работ В. Гейзенберга в области квантовой физики. Но как независимая натура он продолжал искать свой научный путь к раскрытию тайны микромира и свое "научное счастье". Кроме того, в этой статье немецкого ученого содержалась формулировка одного из основополагающих принципов квантовой механики – принципа неопределенности Гейзенберга. Математически этот принцип для сопряженных переменных микрочастицы, имеющей возможность двигаться в декартовой системе координат, например, только в направлении продольной оси OZ трехмерного пространства, "импульс – координата" записывается в следующем виде [16]:

$$\Delta p_z \cdot \Delta z \geq h / 4\pi, \quad (2)$$

где Δp_z , Δz – соответственно неопределенности в определении проекции импульса p на ось OZ (количества движения) микрочастицы и ее пространственной координаты z .

Учитывая крайнюю важность данного принципа (2) для понимания процессов, протекающих в атомных системах, остановимся на нем более подробно. Согласно этому новому фундаментальному принципу для известного значения импульса p электрона (его количества движения $m_e \cdot v_e$) в атоме его пространственное местоположение остается неопределенным. С другой стороны, в случае, когда пространственные координаты электрона в атоме заданы с высокой точностью, его скорость v_e можно определить лишь со значительной степенью неопределенности. Причем, из (2) следует, что для легких микрочастиц с очень малыми массами покоя и геометрическими размерами (как в рассматриваемом случае для электрона) эта

неопределенность скорости будет принимать большие значения и поэтому она будет играть для нее (микро-частицы) и соответственно для ее поведения в атоме существенную роль. Для макрочастиц же (физических тел) с большими размерами и массами покоя из нашего макромира эта неопределенность их скорости при достаточно больших значениях неопределенности их положения (например, величины Δz) является величиной пренебрежимо малой и физически просто не регистрируемой теми измерительными средствами, которыми располагает сейчас человечество.

На взгляд автора, с позиций квантовомеханического принципа неопределенности (2) открывается физический механизм устойчивости любых невозбужденных атомов вещества. В связи с этим появляется и возможность аргументированного ответа нами на интересовавший не одно человеческое поколение вопрос: *почему электрон в атоме не падает на его ядро или протон?* Ответ на данный вопрос достаточно прост: *ведь согласно (2) для него (электрона) это энергетически нецелесообразно и невыгодно.* Поясним этот короткий ответ. В соответствии с принципом неопределенности Гейзенберга, если мысленно представить себе, что электрон без испускания кванта энергии (пусть даже в нарушение второго постулата Н. Бора) со своей потенциальной $W_{\Pi 0}$ и кинетической $W_{K 0}$ энергией приближается с периферии к центру атома (при этом величина его координаты z или радиуса r_e мала и весьма определена), то неопределенность его скорости v_e (ее разброс Δv_e) по (2) резко возрастает. А раз так, то такое умоглядное изменение местоположения электрона в атоме будет приводить к заметному возрастанию его возможной скорости v_e , что должно вызывать существенное увеличение положительной кинетической энергии электрона $W_{KR} > W_{K 0}$. Получается, что рассматриваемое приближение электрона к центру атома или к его ядру, то есть его движение в область малой (отрицательно большой) потенциальной энергии, должно сопровождаться значительным возрастанием его положительной кинетической энергии W_{KR} , диктуемым принципом неопределенности Гейзенберга (2). В результате полная энергия такого электрона, равная сумме отрицательной потенциальной $W_{\Pi 0}$ и положительной кинетической энергии W_{KR} , при приближении к ядру атома становится большей и не соответствующей его пребыванию на более близком к протону атома и с меньшим запасом полной энергии энергетическом уровне. Причем, чем будет ближе электрон к ядру атома, тем он будет испытывать все большее препятствие для пребывания там, обусловленное все большим увеличением в соответствии с (2) его кинетической энергии W_{KR} , а значит и полной энергии ($W_{\Pi 0} + W_{KR}$). Но в соответствии с законами квантовой физики и устойчивости материи электрон как материальный объект будет стремиться занимать как можно более низкое энергетическое состояние с меньшим значением своей потенциальной и кинети-

ческой энергии. Напомним, что потенциальная энергия электрона в атоме будет стремиться к нулю на периферии атома ($n \rightarrow \infty$). Там же будет минимальной и кинетическая энергия электрона. Поэтому электрон, исходя из чисто энергетических соображений, и, несмотря на электростатические силы его притяжения к протону, будет все же "противиться" движению к ядру и протону своего атома. Данное его "противодействие" приближению к центру атома в соответствии с (1) выразится в том, что он будет вынужден перейти на более высокую круговую орбиту с большим радиусом r_e и с большим значением числа n (это в том случае, когда мы рассматриваем поведение связанного электрона в атоме для $n \geq 1$), а, значит, с меньшей скоростью v_e и меньшей кинетической энергией $W_{K 0}$, а также с меньшей полной энергией и равной согласно закону сохранения энергии его первоначальной энергии ($W_{\Pi 0} + W_{K 0}$) $<$ ($W_{\Pi 0} + W_{KR}$) в атомной оболочке. Как в любой макроэлектромеханической системе, так и в атоме (этой своеобразной микроэлектромеханической системе) между его взаимодействующими элементарными частицами (скажем, электроном и протоном) всегда находится всех устраивающий компромисс: электрон после попытки сближения с ядром (протоном) атома "уходит" с выполнением закона сохранения энергии на определенное большее и первоначальное расстояние r_e от центра атома (соответственно от ядра и протона) и там с первоначальной полной энергией продолжает вокруг них вращаться по соответствующей орбите. Заметим, что рассмотренному нами микропримеру из квантовой физики в классической механике соответствует наглядный аналогичный макропример: эффект "ваньки-встаньки", наблюдаемый с одноименной детской игрушкой. Обратим внимание читателя и на то, что в соответствии с постулатами Н. Бора электрон в атоме вещества вообще не может занимать энергетические уровни с радиусами их круговых орбит $r_e < r_{e1}$, характеризующиеся в (1) целым числом $n < 1$ и являющиеся для него запрещенными [16].

Рассмотренный нами выше интересный, с общепознавательных и мировоззренческих позиций, физический вопрос из области атомной физики, связанный с определенным и своеобразным поведением связанного электрона в атоме, имеет, по мнению автора, и определенную аналогию из области электричества (электротехники). Речь в данном случае может идти о законе электромагнитной индукции (ЭМИ) гениального английского физика Майкла Фарадея [21]. Известно, что согласно данному закону индуцируемое изменяющимся во времени t магнитным потоком Φ_{Π} электрическое напряжение U_{Π} в проводнике будет такого направления, что обусловленный им (напряжением U_{Π}) индукционный ток i_{Π} проводника будет противодействовать изменению, порождающему его. Сравнивая эти два случая, видим, что для связанного электрона в атоме механизм противодействия его приближению к ядру (протону) базируется на увеличении согласно (2) его положительной кинети-

тической энергии W_{KR} , а для ЭМИ механизм противодействия проводника внешнему электромагнитному воздействию магнитного потока Φ_{II} основан на изменении направления индуцируемого в нем напряжения U_{II} и соответственно протекающего по проводнику индукционного тока i_{II} в зависимости от характера изменения во времени t этого потока. После определенного и необходимого для лучшего понимания дальнейшего материала научного экскурса по квантовомеханическим вопросам перейдем к математическому и физическому существу работ Э. Шредингера в области волновой механики, объясняющей строение любого атома вещества.

Начиная с 1926 года, Э. Шредингер в немецком журнале *"Annalen der Physik"* опубликовал свою знаменитую научную серию, состоящую из четырех статей под общим названием *"Квантование как задача о собственных значениях"* и в которой был изложен принципиально новый подход к решению задач квантовой физики [22]. Основной мыслью Э. Шредингера в этих работах было то, что в атомных объектах квантование является результатом решения определенной задачи математической физики на собственные значения некоторой волновой функции, заданной соответствующим волновым уравнением. Выведенное им на основе упомянутой выше оптико-механической аналогии данное волновое уравнение, справедливое для случая, когда потенциальная энергия микрочастицы (электрона) не зависит от времени t , в нерелятивистском приближении применительно к атому водорода имело следующий вид [23, 24]:

$$\Delta\psi + \frac{8\pi^2 \cdot m_e}{h^2} \left(E_e + \frac{e_0^2}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot r_e} \right) \psi = 0, \quad (3)$$

где Δ – дифференциальный оператор Лапласа (лапласиан); ψ – волновая функция (пси-функция); E_e – энергия связанного электрона; r_e – текущее расстояние между электроном и протоном ядра атома.

Отметим, что в настоящее время уравнение (3) известно как стационарное уравнение Шредингера [16]. Оно является обобщением идей Л. де Бройля на случай простейшего атома. Физический смысл решения уравнения (3) сводится к стоячим электронным волнам в атоме вещества. Согласно (3) стационарные электронные круговые и эллиптические орбиты в планетарной модели атома Бора-Зоммерфельда могли рассматриваться теперь как его (атома) собственные колебания. Автору на ум сразу приходят известные в классической механике физические аналогии подобных колебаний: механические колебания натянутой струны гитары (лиры) или заземленной пластинки, колеблющихся с некоторыми дискретными частотами, зависящими от условий закрепления струны или пластинки, то есть от соответствующих граничных условий или параметров колеблющейся системы. Уравнение (3) и его решения позволили Э. Шредингеру рассчитать для атома водорода энергетические уровни, которые хорошо согласовывались с экспериментальными данными. Так, в сферической системе

координат решение дифференциального уравнения второго порядка (3) может быть записано в следующем виде [16, 25]:

$$\psi(r_e) = \exp(-C_e \cdot r_e), \quad (4)$$

где $C_e = \pi \cdot e_0^2 \cdot m_e / \varepsilon_0 \cdot h^2$.

Согласно (3) и (4) указанному решению для волновой ψ -функции в атоме водорода, содержащем один протон и один электрон, соответствует единственное значение энергии связанного электрона E_e , равное

$$E_e = -m_e \cdot e_0^4 / 8 \cdot \varepsilon_0^2 \cdot h^2. \quad (5)$$

Знак минус в (5) означает, что в атоме водорода энергия электрона для основного $1s$ – энергетического состояния ниже (меньше) той, которая принимается за нулевую. Заметим, что для рассматриваемого случая нулевой уровень потенциала кулоновского взаимодействия электрона с протоном принимается на бесконечном удалении электрона от ядра (протона) атома водорода ($r_e \rightarrow \infty$). При этом для конечного расстояния r_e от ядра атома ($r_e < \infty$) полная энергия электрона будет являться величиной отрицательной, а его отрицательная потенциальная энергия будет равна работе, которую необходимо затратить для перемещения электрона с соответствующего уровня на бесконечность против действия электростатической силы его притяжения к протону. Подставив в (5) численные значения присутствующих там постоянных, находим, что для атома водорода $E_e = -21,8 \cdot 10^{-19}$ Дж (или $-13,6$ эВ). Еще до рассматриваемых теоретических работ Э. Шредингера на основании опытных измерений оптического спектра атома водорода было известно, что его основной $1s$ – энергетический уровень имеет энергию E_s , равную $E_s = -13,6$ эВ [16]. Получение для атома водорода на основе аналитического решения уравнения Шредингера (3) точно такого же численного значения энергии $E_s = E_e = -13,6$ эВ означало для самого Э. Шредингера и его волновой механики первый настоящий триумф.

Не менее успешной задачей для Э. Шредингера оказалось и определение на основе положений волновой механики местонахождения электрона в атоме водорода. С современных научных позиций в соответствии с (4) вероятность p_{ew} пребывания связанного электрона в данном атоме в сферическом слое с текущими радиусами r_e и $(r_e + dr_e)$ будет пропорциональна следующей функции:

$$p_{ew} \sim 4 \cdot \pi \cdot r_e^2 \cdot |\psi|^2 = 4 \cdot \pi \cdot r_e^2 \cdot \exp(-2 \cdot C_e \cdot r_e). \quad (6)$$

Взяв в (6) производную по r_e и приравняв ее нулю, для наиболее вероятного радиуса r_{ew} круговой орбиты электрона в атоме водорода получаем:

$$8 \cdot \pi \cdot (r_{ew} - C_e \cdot r_{ew}^2) \cdot \exp(-2 \cdot C_e \cdot r_{ew}) = 0. \quad (7)$$

Тогда из (7) для радиуса r_{ew} круговой орбиты электрона в атоме водорода находим:

$$r_{ew} = C_e^{-1} = \varepsilon_0 \cdot h^2 / \pi \cdot e_0^2 \cdot m_e. \quad (8)$$

Полученное нами выражение (8) в точности соответствует первому ($n=1$) "боровскому" радиусу орбиты электрона в атоме водорода [16]. После подстановки в (8) численных значений используемых нами известных электрофизических и квантовомеханических констант для искомого радиуса r_{ew} круговой орбиты электрона в атоме водорода получаем: $r_{ew} = 0,529 \cdot 10^{-10}$ м. Численно найденный нами на основе закономерностей волновой механики радиус r_{ew} полностью соответствует радиусу первой круговой орбиты электрона в планетарной квантовой модели атома водорода, разработанной в 1913 году Н. Бором. Как видим, в отличие от планетарных моделей атома Н. Бора (с круговыми орбитами электронов) и А. Зоммерфельда (с эллиптическими орбитами электронов различной формы и пространственной ориентации), для которых обязательным требованием является выполнение априорных постулатов Н. Бора [16], в волновой механике Э. Шредингера основные характеристики атомной оболочки вытекают, по существу, из строгого решения соответствующего дифференциального волнового уравнения (например, стационарного уравнения Шредингера (3) для атома водорода), описывающего микропроцессы в соответствующей атомной системе. Благодаря волновой теории Э. Шредингера указанные планетарные квантовые модели атома вещества получили свое дальнейшее развитие.

Кроме того, уравнение (3) позволило понять Э. Шредингеру причину отсутствия излучения у вращающихся и не возбужденных на стационарных орбитах связанных электронов, обусловленную образованием в атоме стоячих электронных волн, и объяснить явление смещения энергетических уровней атома под воздействием внешнего сильного электрического поля (эффект Штарка, открытый в 1913 году [14, 16]). Однако Э. Шредингеру, как показали последующие исследования в области квантовой физики, для описания к 1926 году при помощи волновой механики многих других свойств твердого тела не хватало двух важных вещей: *принципа запрета Паули* (каждое энергетическое состояние в атоме может быть занято только одним электроном [14, 16]) и понятия *спина электрона* (вращения электрона вокруг собственной оси [14, 16]). В то время эти два фундаментальных понятия атомной физики только разрабатывались (первое – австрийским физиком Вольфгангом Паули, а второе – американскими физиками Джорджем Уленбеком и Сэмюэлем Гаудсмитом) и для Э. Шредингера были пока не известными. Заметим, что за открытие *принципа запрета* В. Паули в 1945 году был удостоен Нобелевской премии по физике. Введение в атомную физику понятия *спина электрона* (от англ. *spin* – веретено) потребовало введения в квантовую механику четвертого квантового числа – спинового квантового числа $m_s = \pm 1/2$ (положительное значение m_s соответствует одинаковому направлению собственного и орбитального вращения электрона, а отрицательное – противоположному их направлению вращения) [16]. Поэтому согласно *принципу запрета Паули* в атоме любого вещества в

его атомной оболочке может существовать только один электрон в энергетическом состоянии, характеризуемом данными и соответствующими для него значениями четырех квантовых чисел n , l , m_l и m_s .

В 1928 году великий физик-теоретик Н. Бор в своей статье "*Квантовый постулат и новейшее развитие атомной теории*" написал [24]: "... Э. Шредингеру удалось развить метод волновой механики, открывший новые аспекты и имевший решающее значение для огромного прогресса атомной теории в последние годы". Выдающийся английский физик-теоретик Поль Дирак о разработанной Э. Шредингером новой физической волновой теории процессов в микромире в свое время однажды высказался так [26]: "...Эрвин Шредингер был человеком выдающихся способностей в применении абстрактных математических рассуждений к развитию физических теорий. Его крупнейшее открытие, именно волновое уравнение Шредингера, как основа для описания атомных процессов, было одним из наиболее изумительных успехов, достигнутых в развитии научных знаний". Известно и высказывание не менее знаменитого немецкого физика-теоретика А. Зоммерфельда насчет волновой механики Э. Шредингера [18]: "...Эрвин Шредингер постарался построить теорию континуума на основе математических методов волновой теории. Для волновой механики Шредингера, в отличие от теории атома Бора, особые квантовые условия излишни. Они заменяются требованием свободы волновых состояний для объектов микромира". С точки зрения другого известного немецкого физика-теоретика М. Борна [27]: "... Сущность новой волновой механики заключается не во вводимой ею волнах материи, а в замене детерминистического описания событий описанием вероятностным, то есть когда определяется не само событие, а его вероятность". Появление подобной волновой теории Э. Шредингера и полученные с ее помощью новые научные результаты для атомных явлений ознаменовали рождение в атомной физике принципиально нового подхода к описанию закономерностей микромира. Можно сказать, что волновая механика Э. Шредингера открыла новый период в развитии мировой физики и квантовой физики в том числе.

С появлением такого нового направления в квантовой физике как волновой механики в атомной физике на долгие годы возникли дискуссии о природе и физической трактовке волновой функции ψ . Сам Э. Шредингер пытался трактовать ψ -функцию наглядным образом и говорил в связи с этим о ее колебательном характере в трехмерном пространстве [14]. В 1926 году М. Борн предложил другой подход к пониманию смысла волновой ψ -функции, введенной Э. Шредингером. В соответствии с его подходом квадрат амплитуды волновой функции ψ соответствовал плотности вероятности ρ_{ew} пребывания микрочастицы в том или ином месте "евклидова" пространства [14, 16]. Вот что сам М. Борн говорил по этому поводу [27]: "... Я уверен, что статистический характер ψ -функции будет определять стиль законов в тече-

ние, по крайней мере, нескольких столетий". Вначале такое новое статистическое трактование волновой ψ -функции и соответственно всей волновой механики было для Э. Шредингера неприемлемо. Тем не менее, только такое понимание волновой функции ψ ставило волновую механику на прочную физическую основу. Кстати, такой трактовкой волновой ψ -функции сейчас пользуется и весь научный мир. Можно с полным на то основанием считать, что волновая механика Э. Шредингера стала магистральным путем в разработке и развитии математических методов квантовой физики, а также в углублении наших знаний о микромире. Волновое уравнение Шредингера для атомных систем стало важным научным инструментом в проведении фундаментальных исследований, например, в физике твердого тела, в физике элементарных частиц и в других областях современных человеческих знаний. В последнее время методы волновой механики нашли свое практическое применение при изучении электрофизических явлений и процессов, сопровождающих протекание электрического постоянного или переменного (импульсного) тока проводимости большой плотности и соответственно дрейф свободных электронов в металлических проводниках, используемых в электрических цепях мощных электрофизических установок, предназначенных для получения в научных и технологических целях больших токов, сильных электрических и магнитных полей [28 – 30].

В завершение этого раздела вкратце остановимся на экспериментальном подтверждении волновой природы любого вещества. В мае 1927 года сын нами уже упомянутого известного английского физика Джозефа Томсона – Джордж Томсон (кстати, они оба стали лауреатами Нобелевской премии по физике), исследуя с помощью катодных лучей дифракцию электронов, показал, что полученные им дифракционные картины в точности напоминали известную дифракцию рентгеновских лучей [16]. Так впервые опытным путем было доказано, что электрон обладает волновыми свойствами. К концу 1927 года американские физики Клинтон Дэвисон и Лестер Джермер, изучая рассеяние электронов на монокристаллах никеля и сравнивая полученные ими опытные результаты дифракционных картин с соответствующими расчетными данными по известной формуле Вульфа-Брэгга, экспериментально подтвердили реальность волн материи, связанных с электронами [14, 16]. В этой цепочке экспериментов из области квантовой физики необходимо указать и опыты немецкого физика Отто Штерна, проведенные в 1929 году и связанные с изучением волновой природы нейтральных атомов и молекул по их рассеянию на двухмерной дифракционной решетке кристалла LiF [16]. В результате этих опытов было показано, что для тяжелых атомов, из-за малой длины λ_e "дебройлевской" волны, дифракционная картина получается расплывчатой, а для легких атомов и молекул (водорода и гелия) наблюдается четкая дифракционная картина. Причем, максимумы интенсивности на ней (этой картине) наблюдаются в точках, где вол-

ны де Бройля от дифракционных центров собираются в фазе.

4. НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКАЯ РАБОТА ЭРВИНА ШРЕДИНГЕРА ВДАЛИ ОТ РОДИНЫ ПОСЛЕ "ЦЮРИХСКОГО ПЕРИОДА"

Эрвин Шредингер, как создатель волновой механики, с 1927 года вошел в первые ряды физиков своего богатого на научные открытия времени. В 1927 году Э. Шредингер оставил Швейцарию и переехал на работу в Германию (Берлин), став преемником на кафедре теоретической физики Берлинского университета самого М. Планка. Этот переезд был вызван не столько сказочно высокой зарплатой на новой профессорской должности, а сколько той ролью, которую играла в тогдашнем мире берлинская школа физики. Накал научной жизни в ту пору в столице Германии был чрезвычайно высок. В Берлине тогда работало, не считая М. Планка, беспрецедентное число первоклассных физиков (например, А. Эйнштейн, М. фон Лауэ, Отто Ган, Вальтер Нернст и др.). Большинство этих физиков, как и он сам, придерживались того взгляда в квантовой теории, что статистический подход М. Борна не может "*лежать в основе физической теории*" [1, 14]. Это их сближало, но никак не способствовало прояснению научных истин для микромира.

В 1928 году Э. Шредингер единогласно был избран членом Берлинской Академии наук. Такой чести удостоивались немногие. К этому времени он уже состоял в Академии наук Австрии. Известные политические события в предвоенной Германии нарушили его научно-педагогическую работу. В октябре 1933 года Э. Шредингер прибыл в Оксфорд (Англия). Здесь он пробыл три года, оставаясь исследователем – стипендиатом в одном из колледжей и не имея права заниматься преподавательской работой [1]. В 1934 году он стал действительным членом АН СССР. В октябре 1936 года Э. Шредингер приступил к исполнению обязанностей ординарного профессора теоретической физики университета в Граце (Австрия). После аннексии в марте 1938 года Германией Австрии он был освобожден от профессорской должности из-за политической неблагонадежности. Осенью 1938 года Э. Шредингер с большими трудностями вернулся в английский Оксфорд, а в октябре 1939 года перебрался в Дублин (Ирландия), где ему в спокойной и размеренной ирландской обстановке, на целых семнадцать последующих лет, удалось продолжить свои научные исследования. Так многолетняя одиссея нашего "австрийского скитальца" подошла практически к своему счастливому завершению. Надо отметить, что весь этот временной период после 1927 года, по сравнению с "цюрихским периодом", не отличался для него большой научной продуктивностью. Здесь он вплоть до своей отставки в 1955 году проработал директором специально созданного для него Института высших исследований. Во время работы в Дублине научными интересами для Э. Шредингера стали: теория гравитации и область знаний на стыке физики и биологии. К этим направлениям в 1942 году добавились исследования по созданию единой теории поля: здесь речь шла о разработке теории, объединяющей

теорию гравитации с электродинамикой. В Ирландии Э. Шредингер затронул новую для себя фундаментальную проблему, связанную с микроскопическими явлениями, которые протекают внутри живого организма. Он поддержал работы в этом направлении тогда молодого Макса Дельбрюка, разработавшего впоследствии модель гена, основанную на предположении о квантовой природе процесса передачи в биологических организмах наследственных признаков. Отметим, что М. Дельбрюк в будущем сыграл важную роль в становлении современной молекулярной биологии [1]. Историки науки и техники отмечают ту особенность, что, несмотря на то, что у Э. Шредингера были весьма поверхностные биологические знания, ему все же удалось в "дублинский период" на высоком научном уровне сформулировать важнейшие задачи биологической науки. Кроме того, он попытался даже обобщить полученные в его институте новые данные из области молекулярной биологии и распространить их на живую клетку, в жизнедеятельности которой ключевую роль как раз и играют гены.

Весной 1956 года 69-летний Э. Шредингер возвратился на свою родину в Вену и в ставший ему родным Физический институт при Венском университете. Здесь он был сразу принят на должность ординарного профессора теоретической физики. В 1957 году он по возрасту вышел в отставку и последние годы своей жизни провел в живописной австрийской деревне Альпбах (Тироль). В это время его творческим увлечением (научным хобби) стали философско-мировоззренческие рассуждения и работы, большая часть из которых была связана с проблемой причинности и детерминизма в природе и физической науке (от лат. *determinare* – определять) [31]. 4 января 1961 года Эрвина Шредингера – выдающегося физика XX столетия не стало.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Хоффман Д. Эрвин Шредингер: Пер. с нем.- М.: Мир, 1987.-96 с.
- [2] Thirring H. Erwin Schrödinger zum 60 Geburtstag// Acta Physica Austriaca.- 1947.- №1.-S. 105-109.
- [3] Schrödinger E. Die Leitung der Elektrizität der Oberfläche von Isolatoren an feuchter Luft// Sitzungsberichte Akademie der Wissenschaften Wien.-1910.-Abt.2A.- №119.-S. 1215-1223.
- [4] Schrödinger E. Studien über Kinetik der Dielektrika, den Schmelzpunkt, Pyro- und Piezoelektrizität// Wien. Ber.-1912.- Abt. 2A.- №121.-S. 1937-1973.
- [5] Schrödinger E. Zur kinetischen Theorie des Magnetismus// Wien. Ber.-1912.- Abt. 2A.- №121.-S. 1305-1329.
- [6] Schrödinger E. Beiträge zur Kenntnis der atmosphärischen Elektrizität// Wien. Ber.-1912.- Abt. 2A.- №121.-S.2391.
- [7] Schrödinger E. Radium A-Gehalt der Atmosphäre in Seeham 1913// Wien. Ber.-1913.- Abt. 2A.- №122.-S.456.
- [8] Schrödinger E. Notiz über die Theorie der anomalen elektrischen Dispersion// Verh. Dtsch. Physik Ges.-1913.- №22.-S. 1167-1172.
- [9] Schrödinger E. Über die Schärfe der mit Röntgenstrahlen erzeugten Interferenzbilder// Physikalische Zeitschrift.-1914.- №15.-S. 79-86.
- [10] Schrödinger E. Zur Theorie des Debyeefektes// Physikalische Zeitschrift.-1914.- №15.-S. 497-504.
- [11] Schrödinger E. Die Ergebnisse der neuen Forschung über Atom und molekularwärmen// Naturwissenschaft.-1917.- №5.-S.537-543.
- [12] Schrödinger E. Die Energiekomponenten des Gravitationsfeldes// Physikalische Zeitschrift.-1918.- №19.-S. 4-7.
- [13] Schrödinger E. Über die spezifische Wärme fester Körper bei hoher Temperatur und über die Quantelung von Schwingungen endlicher Amplitude // Physikalische Zeitschrift.-1922.- №11.-S. 170-176.
- [14] Кудрявцев П.С. Курс истории физики.- М.: Просвещение, 1974.-312 с.
- [15] Астафуров В.И., Бусев А.И. Строение вещества.-М.: Просвещение, 1977.-160 с.
- [16] Кузьмичев В.Е. Законы и формулы физики/ Отв. ред. В.К. Тартаковский.- Киев: Наукова думка, 1989.-864 с.
- [17] Френкель Я.И. Происхождение и развитие волновой механики/ В кн.: Э. Шредингера "Новые пути в физике".- М.: Наука, 1971.-С. 329-352.
- [18] Зоммерфельд А. Современное состояние атомной физики/ В кн.: Э. Шредингера "Новые пути в физике".- М.: Наука, 1971.-С. 317-328.
- [19] Raman V., Forman P. Why was it Schrödinger who developed de Broglie's ideas?// Historical Studies in the Physical Sciences.-1969.-№1.-p. 291-314.
- [20] Heisenberg W. Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik// Zeitschrift für Physik.-1925.- №33.-S. 172-198.
- [21] Боев В.М., Грибовская Е.А., Лавриненко О.В. "Электротоническое состояние" и закон электромагнитной индукции Фарадея// Электротехника і електромеханіка.-2004.-№4.-С. 5-8.
- [22] Schrödinger E. Quantisierung als Eigenwertproblem// Annalen der Physik.-1926.-№79.-S.489-527; 1926.-№79.-S.734-757; 1926.-№80.-S.437-491; 1926.-№81.-S. 109-140.
- [23] Шредингер Э. Четыре лекции по волновой механике: Пер. с нем.- Харьков-Киев: Научно-техническое изд-во Украины, 1936.-40 с.
- [24] Шредингер Э. Новые пути в физике.- М.: Наука, 1971.-427 с.
- [25] Солимар Л., Уолш Д. Лекции по электрическим свойствам материалов: Пер. с англ. под ред. С.И. Баскакова.-М.: Мир, 1991.-504с.
- [26] Дирак П. Профессор Эрвин Шредингер/ В кн.: Э. Шредингера "Новые пути в физике".- М.: Наука, 1971.-С.387-389.
- [27] Борн М. Интерпретация квантовой механики/ В кн.: Э. Шредингера "Новые пути в физике".- М.: Наука, 1971.-С. 368-382.
- [28] Баранов М.М., Баранов М.И. Квантовомеханическая модель поглощения электромагнитных волн проводником и явление его электрического взрыва// Электротехніка і електромеханіка.-2005.-№2.-С. 63-71.
- [29] Баранов М.И. Волновое распределение свободных электронов в проводнике с электрическим током проводимости// Электротехніка.-2005.-№7.-С. 25-33.
- [30] Баранов М.И. Энергетический и частотный спектры свободных электронов проводника с электрическим током проводимости// Электротехніка.-2006.-№7.-С. 29-34.
- [31] Schrödinger E. Was ist ein Naturgesetz.- München, 1962.-S. 79.

Поступила 07.09.2005