

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ АТОМА БОРА

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

З позицій класичної та квантової електродинаміки на основі теорії атому Бора надані результати теоретичних досліджень мікроелектромеханічних процесів усередині найпростішого атому речовини – атому водню, які дозволяють по-новому глянути на електрофізичний механізм внутрішньоатомних квантових явищ в речовині.

С позицій класической и квантовой электродинамики на основе теории атома Бора приведены результаты теоретических исследований микроэлектромеханических процессов внутри простейшего атома вещества – атома водорода, позволяющие по-новому взглянуть на электрофизический механизм внутриатомных квантовых явлений в веществе.

ВВЕДЕНИЕ

Строение атома вещества является одной из тех важнейших фундаментальных характеристик, знание которых крайне необходимо как для понимания его (вещества) особенностей и многообразных свойств и протекающих в нем физико-химических процессов, так и для практического решения широкого круга прикладных задач. Одной из таких задач электрофизической направленности, по мнению автора, является, в частности, определение картин сверхсильных электрических и магнитных полей в разнообразных атомах и молекулах газообразных, жидких и твердых материалов. Знание указанных картин электромагнитного поля микромира и соответственно умение их рассчитывать открывает перед человечеством определенные перспективы в области нанотехнологий при синтезе и получении новых материалов с заданными механическими и электрофизическими свойствами. Поэтому данному вопросу во всем мире уделялось ранее и уделяется в настоящее время исключительно большое внимание. Современные результаты экспериментальных исследований по электричеству и магнетизму свидетельствуют о том, что протекание как макроскопических, так и микроскопических электромагнитных взаимодействий и явлений в твердом теле или ином физическом объекте обычно описывается теми параметрами (например, электрическим зарядом вещества, энергией частицы или волны вещества и др.), которые носят дискретный (квантовый) характер и адекватно отражают внутреннюю природу исследуемых электрофизических процессов [1, 2].

Известно, что в нынешних условиях прогресс в области электротехники (электродинамики) и электротехнологий определяется, в основном, новейшими достижениями в тех научно-технических сферах, которые охватывают полный цикл проведения необходимых для этого комплексных научно-технических работ: изучение на атомно-молекулярном уровне, синтез, технологическое получение в требуемых объемах и практическое использование новых суперматериалов с наперед заданными предельными физико-механическими и электрофизическими характеристиками.

В тоже время в последние годы у определенной части специалистов как электротехнического, так и электрофизического направления имеется неудовлетворенность тем, что "...электротехническая наука в

известной мере оторвалась от современной физики, ее важнейших разделов – квантовой механики и квантовой электродинамики" [1]. Очевидно, что указанные разделы физической науки о микромире являются основой любого современного научного знания, в том числе и из электротехнической (электродинамической) области. В этой связи, на мой взгляд, полезным как с общефизической, так и методической точки зрения для указанных специалистов может оказаться обращение к исследованию с нетрадиционных электродинамических позиций микроэлектромеханических процессов, протекающих в атоме любого вещества. Для этой цели нам вначале следует хоть вкратце остановиться на его (атоме) основных известных физико-математических моделях, их главных достоинствах и недостатках.

1. ОСНОВНЫЕ СОВРЕМЕННЫЕ МОДЕЛИ АТОМА ВЕЩЕСТВА

Благодаря неопровержимым результатам экспериментальных исследований в области атомной физики, в частности, данным по прохождению положительно заряженных α -частиц (ядер атома гелия) через металлические пластинки при $m=2$ и $n=1$ и открытию атомного ядра, полученным известным английским физиком Эрнстом Резерфордом и его учениками, научному миру в 1913 году 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 [3, 4]. Основным недостатком планетарной модели атома 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 микросистема должна была быть энергетически неустойчивой и быстро распадающейся, что противоречило внутриатомным явлениям, наблюдаемым физиками-ядерщиками в действительности.

В том же 1913 году великий датский физик Нильс Бор положил начало нового научного направления в атомной физике – квантовой механике и появлению квантовой модели атома вещества [4]. 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, порция) действия Планка. При этом для большей ясности подчеркнем сущность основной идеи немецкого физика Макса Планка: он теоретически 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 [5]).

Развивая эту идею, Н. Бор выдвинул гипотезу о том, что прерывному характеру испускания (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 стационарной круговой 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 стационарную круговую орбиту [5].

В соответствии с теоретическими работами Н. Бора о строении атома вещества 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 E_0 [4, 5]. Результаты этих экспериментов немецких физиков Джеймса Франка и Густава Герца прямо показали, что энергия атомов изменяется дискретно. Как ими было установлено, например, для атомов ртути поглощаемая порция (квант) энергии для их возбуждения и испускаемая потом электромагнитная энергия при обратном переходе атома ртути из возбужденного состояния в основное составляет примерно $E_k = 4,9\text{эВ}$ ($7,85 \cdot 10^{-19}$ Дж), что соответствует энергии кванта ультрафиолетового света длиной волны в 253,6 нм [5]. 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 практически круговой орбите движется единственный электрон. Теория атома Бора позволила правильно описать экспериментально наблюдаемые длины волн (частоты) для известных линейчатых спектров атома водорода (серия Лаймана, Бальмера, Пашена, Брекета и Пфунда) [5, 6]. Однако, атомная теория 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.) [5].

В 1915 году известный немецкий физик Арнольд Зоммерфельд, развивая теорию атома Бора, в атомную физику ввел идею пространственного квантования [5]. 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 $n = 1, 2, 3, \dots$, соответствующему 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. Для характеристики электромагнитных свойств электрона в атоме вещества в 1925 году А. Зоммерфельдом было дополнительно введено третье квантовое число – магнитное квантовое число $m_l = \pm l$, характеризующее ориентацию плоскости электронной орбиты в трехмерном "евклидовом" пространстве [6]. Атомная теория Бора – Зоммерфельда давала правильное описание энергетических уровней для водородоподобных атомов, то есть атомов с одним электроном (например, для атома водорода, однократно ионизованного атома гелия и других атомов) [5].

Для полноты рассматриваемого нами вопроса отметим, что к 1926 году австрийским физиком Вольфгангом Паули и американскими физиками Джорджем Уленбеком и Сэмюэлем Гаудсмитом были разработаны два фундаментальных понятия атомной физики [4]: принцип запрета Паули (каждое энергетическое состояние в атоме может быть занято только одним электроном) и спин электрона (вращение электрона вокруг собственной оси). Введение в атомную физику понятия спина электрона (от англ. *spin* – *вертено*) 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 [5]). Получалось, что в соответствии с принципом 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 .

Несмотря на все это, усовершенствованная квантовая модель атома Бора 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.) [4, 5]. Было видно, что при всех своих успехах квантовая теория атома, разработанная Н. Бором и уточненная А. Зоммерфельдом, имеет и серьезные недостатки. История развития мировой физической науки показала, что метод квантования Бора-Зоммерфельда явился переходным этапом к последовательной квантовой теории атома, основанной на волновой природе вещества и соответственно на закономерностях волновой механики, главные принципы которой были разработаны к 1927 году известным австрийским физиком Эрвином Шредингером [4, 5].

Из вышеизложенного и истории развития атомной физики следует, что при всех своих достоинствах и недостатках квантовая теория атома Бора, используя соответствующие постулаты, оставила в стороне электрофизическую причинность и сущность протекающих в атомной оболочке квантовых процессов. Физический механизм внутриатомных квантовых явлений в этой теории затуманен и лишен наглядности. Вместо ясных и простых физических представлений и построений, базирующихся на известных понятиях из классической и квантовой электродинамики, специалисту при анализе с ее помощью внутриатомных процессов предлагается лишь формальное знание: схемы электронных переходов и формулы для аналитического расчета геометрических и энергетических характеристик уровней (стационарных орбит электронов), энергий и частот квантов излучения (поглощения). И, наконец, при всем этом данная общепризнанная квантовая теория атома, выдержавшая суровое испытание опытом и временем и ставшая классической, и в настоящее время сохраняет свое не только научно-историческое, но и широкое научно-практическое, мировоззренческое и методическое значение. Кроме того, не следует выпускать из виду и того важного обстоятельства, что современные опытные данные из атомной и ядерной физики явно подтверждают допустимость электронного оболочечного представления в строении атома любого вещества [5, 6].

Целью данной работы является дальнейшее развитие квантовой теории атома Бора и ее наполнение электрофизической сущностью и наглядностью на основе нового электродинамического подхода в описании микроэлектромеханических внутриатомных процессов в веществе и известных электротехнических и квантовомеханических закономерностей.

2. ПРИНЯТЫЕ ДОПУЩЕНИЯ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ АТОМА ВЕЩЕСТВА

Рассмотрим в сферической системе координат микроэлектромеханические процессы в уединенном простейшем атоме вещества – атоме водорода, удовлетворяющем квантовой атомной теории Бора [5]. Примем, что в соответствии с постулатами Бора круговые стационарные орбиты (энергетические уровни)

его атомной оболочки отвечают правилу квантования Бора-Зоммерфельда, а их радиус r_{en} определяется из следующего выражения [6]:

$$r_{en} = \frac{n^2 \cdot \varepsilon_0 \cdot h^2}{\pi \cdot m_e \cdot e_0^2}, \quad (1)$$

где $m_e = 9,108 \cdot 10^{-31}$ кг – масса покоя электрона; $e_0 = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл – электрический заряд электрона; $\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – электрическая постоянная; $n = 1, 2, 3, \dots$ – главное квантовое число, нумерующее электронные орбиты атома по мере их удаления от его ядра.

При описании внутриатомных процессов воспользуемся как "боровской" скоростью v_{en} электрона на n -ой круговой стационарной орбите [6],

$$v_{en} = \frac{e_0^2}{2 \cdot n \cdot \varepsilon_0 \cdot h}, \quad (2)$$

так и известным выражением для полной энергии электрона W_{en} на n -ой стационарной электронной орбите оболочки атома Бора [6]:

$$W_{en} = - \frac{m_e \cdot e_0^4}{8 \cdot n^2 \cdot \varepsilon_0^2 \cdot h^2}. \quad (3)$$

Знак минус в (3) означает, что в атоме водорода энергия электрона W_{en} 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 ($n \rightarrow \infty$ и $r_{en} \rightarrow \infty$). При этом для конечного расстояния от ядра атома ($r_{en} < \infty$) полная энергия электрона W_{en} будет являться величиной отрицательной, а его отрицательная потенциальная энергия будет равна работе, которую необходимо затратить для перемещения электрона с соответствующего энергетического уровня на бесконечность против действия электростатической силы его притяжения к протону. Ограничимся случаем нерелятивистского приближенного описания квантовых микроэлектромеханических процессов в атоме, когда возможно использование понятия об электрическом потенциале электрона оболочки и нуклона ядра [5, 7]. Считаем, что ядро рассматриваемого нами атома находится в состоянии покоя, а влиянием окружающих этот атом микрообъектов на исследуемые внутриатомные процессы пренебрегаем. Требуется с учетом принятых допущений дополнить и расширить квантовую теорию атома Бора новыми электрофизическими положениями, базирующимися на электродинамическом подходе при описании микроэлектромеханических внутриатомных процессов в веществе.

3. ОСНОВНЫЕ ИДЕИ И РАСЧЕТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ ПРЕДЛАГАЕМОГО ПОДХОДА

Так как вращающийся на стационарной n -ой орбите радиусом r_{en} оболочки атома электрон создает

круговой квантованный электрический ток i_{en} , то согласно законам классической и квантовой электродинамики [8, 9] такой орбитальный ток будет вызывать появление в пространстве между связанным электроном с отрицательным электрическим зарядом e_0 и положительно заряженным ядром атома с аналогичной величиной заряда e_0 квантованного орбитального магнитного потока Φ_{en} . Величину указанного квантованного орбитального электрического тока i_{en} атома можно вычислить по следующей формуле:

$$i_{en} = \frac{e_0}{T_{en}}, \quad (4)$$

где $T_{en} = 2\pi/\omega_{en}$ – квантованный период обращения электрона на n -ой стационарной орбите атома; $\omega_{en} = v_{en}/r_{en}$ – квантованная круговая частота вращения электрона на рассматриваемой атомной орбите.

Учитывая (1) и (2), выражение для квантованного периода T_{en} орбитального обращения электрона в атоме принимает вид:

$$T_{en} = \frac{4 \cdot n^3 \cdot \varepsilon_0^2 \cdot h^3}{m_e \cdot e_0^4}. \quad (5)$$

Тогда с учетом (4) и (5) в окончательном виде выражение для квантованного орбитального электрического тока i_{en} в атоме запишется в виде:

$$i_{en} = -\frac{m_e \cdot e_0^5}{4 \cdot n^3 \cdot \varepsilon_0^2 \cdot h^3}. \quad (6)$$

Из (5) и (6) видно, что по мере удаления стационарных электронных орбит от ядра атома (возрастания квантового числа n) значения периода T_{en} орбитального обращения электрона увеличиваются прямо пропорционально n^3 , а значения орбитального электрического тока i_{en} – уменьшаются обратно пропорционально n^3 . Численная оценка по (6) величины орбитального электрического тока i_{en} в атоме водорода показывает, что для основной стационарной орбиты атомной оболочки ($n=1$) она принимает значение, равное $i_{e1} = -1,053$ мА. Что касается изменения Δi_{mn} квантованного орбитального электрического тока в рассматриваемом нами атоме при переходе электрона, например, с его более удаленной от ядра m -ой стационарной орбиты на более близкую к ядру n -ую орбиту ($m > n$), то оно согласно (6) принимает следующий вид:

$$\Delta i_{mn} = \left(\frac{1}{n^3} - \frac{1}{m^3} \right) \cdot \frac{m_e \cdot e_0^5}{4 \cdot \varepsilon_0^2 \cdot h^3}. \quad (7)$$

Из (7) нетрудно видеть, что при вышеуказанном межорбитальном переходе электрона в водородоподобном атоме изменение Δi_{mn} квантованного орбитального электрического тока является величиной положительной ($\Delta i_{mn} > 0$).

Согласно экспериментальным данным из области физики твердого тела [10] квантованный орбиталь-

ный магнитный поток Φ_{en} внутри атома вещества, обусловленный квантованным орбитальным электрическим током i_{en} по (6), может принимать только значения, кратные некоторой постоянной величине $\Phi_0 = h/2e_0$, называемой квантом магнитного потока и численно равной $2,068 \cdot 10^{-15}$ Вб. В этой связи для величины орбитального магнитного потока Φ_{en} на n -ой стационарной орбите атома можно записать следующее выражение:

$$\Phi_{en} = \frac{nh}{2e_0}. \quad (8)$$

Далее, исходя из принятых допущений, выражение (3) для полной энергии электрона W_{en} на n -ой стационарной орбите атома представим в таком виде:

$$W_{en} = e_0 \cdot \varphi_{en}, \quad (9)$$

где φ_{en} – квантованный орбитальный электрический потенциал электрона на n -ой стационарной орбите атома, являющийся скалярной величиной и равный работе, совершаемой силами электрического поля при перемещении (удалении) единичного положительного заряда с соответствующей орбиты атомной оболочки в бесконечно удаленную точку с нулевым электрическим потенциалом [11].

В результате из (3) и (9) для величины квантованного орбитального электрического потенциала φ_{en} электрона на n -ой стационарной орбите атома получаем:

$$\varphi_{en} = -\frac{m_e \cdot e_0^3}{8 \cdot n^2 \cdot \varepsilon_0^2 \cdot h^2}. \quad (10)$$

Зная из электротехники (электродинамики), что закон электромагнитной индукции (ЭМИ) Майкла Фарадея справедлив как для макроскопических, так и микроскопических электрических контуров и совершенно не зависит от природы вещества, в котором он действует [2, 12], осуществим на его основе проверку справедливости вышеприведенных соотношений (5), (8) и (10). В этом случае с учетом закона ЭМИ Фарадея [6, 11] для n -ой стационарной орбиты атома запишем нижеследующее приближенное выражение:

$$-\frac{\Delta \Phi_{en}}{\Delta t_{en}} = u_{en}, \quad (11)$$

где $\Delta \Phi_{en}$ – изменение квантованного орбитального магнитного потока Φ_{en} на рассматриваемой n -ой электронной орбите за время Δt_{en} , равное соответствующему квантованному периоду T_{en} орбитального обращения электрона в атоме; u_{en} – скалярная величина квантованной электродвижущей силы (ЭДС) на n -ой стационарной орбите электрона в атоме, определяющей способность стороннего магнитного поля вызывать в замкнутом электрическом контуре n -ой стационарной орбиты электрона квантованный электрический ток i_{en} .

Мысленно разрезав в одном месте замкнутый круговой электрический контур n -ой стационарной орбиты электрона в атоме водорода двумя бесконечно

близкими параллельными плоскостями, нормально расположенными к плоскости рассматриваемого электрического контура, мы можем в зоне разреза одному краю этого контура условно присвоить нулевой электрический потенциал, а другому противоположному краю контура – квантованный орбитальный электрический потенциал φ_{en} . Тогда скалярную величину ЭДС u_{en} в рассматриваемом нами своеобразном электрическом контуре на n -ой электронной орбите исследуемой атомной оболочки можно трактовать как разность электрических потенциалов в зоне его условного разреза, численно равную φ_{en} и соответственно равную работе, совершаемой силами орбитального электрического поля при перенесении единичного положительного заряда вдоль указанного кругового участка n -ой стационарной электронной орбиты атома [11].

Так как при выполнении равенства $\Delta t_{en} = T_{en}$ величина $\Delta\Phi_{en}$ оказывается точно равной орбитальному магнитному потоку Φ_{en} по (8), то из (5) и (11) следует, что величина ЭДС u_{en} становится тождественно равной орбитальному электрическому потенциалу φ_{en} электрона на n -ой стационарной орбите атома, определяемому согласно (10). Это может служить одним из доказательств правомерности предлагаемого электродинамического подхода для приближенного описания сложных микроэлектромеханических процессов в исследуемом атоме вещества.

Используя введенное нами понятие квантованного орбитального электрического потенциала φ_{en} согласно (10), определим круговую частоту излучения ω_{mn} кванта энергии при переходе электрона с его более удаленной от ядра m -ой стационарной орбиты в атоме на более близкую к ядру n -ую орбиту ($m > n$). Для этого с учетом (9) и формулы Планка воспользуемся следующим соотношением:

$$\frac{h \cdot \omega_{mn}}{2 \cdot \pi} = e_0 \cdot \Delta\varphi_{mn}, \quad (12)$$

где $\Delta\varphi_{mn}$ – изменение орбитального электрического потенциала электрона при его переходе с m -ой на n -ую стационарную орбиту атома.

В соответствии с (10) для величины приращения $\Delta\varphi_{mn}$ орбитального электрического потенциала электрона при его рассматриваемом переходе в атоме получаем:

$$\Delta\varphi_{mn} = \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \cdot \frac{m_e \cdot e_0^3}{8 \cdot \varepsilon_0^2 \cdot h^2}. \quad (13)$$

Тогда из (12) и (13) для круговой частоты излучения ω_{mn} кванта энергии в атоме имеем:

$$\omega_{mn} = \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \cdot \frac{\pi \cdot m_e \cdot e_0^4}{4 \cdot \varepsilon_0^2 \cdot h^3}. \quad (14)$$

Из (14) следует, что полученное нами на основании электродинамического подхода значение ω_{mn} в точности соответствует "боровской" круговой частоте кванта излучения в атоме водорода [6]. Кроме того, из

выражения (13) при $n=1$ и $m=\infty$ после подстановки в него фундаментальных постоянных может быть численно найдено максимальное значение орбитального электрического потенциала электрона в атоме водорода, составляющее $\Delta\varphi_{mn}=13,6$ В и соответственно определяющее известную энергию ионизации E_0 этого атома, найденную экспериментальным путем и равную 13,6 эВ или $2,18 \cdot 10^{-18}$ Дж [5, 6]. Данное обстоятельство также свидетельствует в пользу предлагаемого автором электродинамического подхода для приближенного анализа микроэлектромеханических процессов в простейшем атоме вещества.

В рамках предлагаемого подхода впервые в атомной физике появляется возможность для приближенного аналитического расчета времени (длительности) перехода электрона в атоме водорода с одной стационарной орбиты на другую. Так, при переходе электрона с m -ой стационарной орбиты в рассматриваемом атоме на n -ую орбиту ($m > n$) согласно (11) и закону ЭМИ Фарадея будет справедливо следующее приближенное выражение:

$$-\frac{\Delta\Phi_{mn}}{\Delta t_{mn}} = \varphi_{en}, \quad (15)$$

где $\Delta\Phi_{mn}$ – изменение квантованного орбитального магнитного потока в атоме при переходе электрона с m -ой на n -ую стационарную орбиту; Δt_{mn} – длительность перехода электрона с m -ой на n -ую стационарную орбиту атомной оболочки.

На основании (8) для изменения орбитального магнитного потока $\Delta\Phi_{mn}$ в исследуемом атоме запишем:

$$\Delta\Phi_{mn} = \frac{(m-n) \cdot h}{2 \cdot e_0}. \quad (16)$$

В итоге из (15) и (16) с учетом (10) выражение для длительности межорбитального перехода Δt_{mn} электрона в атоме водорода принимает такой вид:

$$\Delta t_{mn} = \frac{4 \cdot n^2 \cdot \varepsilon_0^2 \cdot h^3 \cdot (m-n)}{m_e \cdot e_0^4}. \quad (17)$$

Из (17) следует, что значение Δt_{mn} , как и значение квантованного радиуса r_{en} орбиты электрона по (1), прямо пропорционально величине n^2 . Кроме того, из (5) и (17) можно увидеть, что при $m=2$ и $n=1$ длительность межорбитального перехода Δt_{mn} электрона оказывается точно равной периоду T_{en} его обращения вокруг ядра на основной стационарной орбите атомной оболочки. Эти обстоятельства, по нашему мнению, могут свидетельствовать о работоспособности полученной формулы (17). При этом количественная оценка величины Δt_{mn} по (17) показывает, что она при $m=2$ и $n=1$ принимает численное значение, равное примерно $\Delta t_{mn}=1,520 \cdot 10^{-16}$ с. Для количественного сравнения этой величины Δt_{mn} с известными временными параметрами, характерными для электрона, отметим, что в металлических проводниках для свободных электронов с объемной элек-

тронной плотностью n_e порядка 10^{29} м^{-3} при средней длине l_e их свободного пробега порядка 10^{-8} м время релаксации электронов τ_r , то есть время, соответствующее величине длины пробега l_e , составляет численное значение порядка 10^{-14} с [13, 14]. Видно, что для рассматриваемого случая длительность межорбитального электронного перехода Δt_{mn} в атоме водорода оказывается существенно меньше времени релаксации свободных электронов τ_r в металлическом проводнике. О справедливости подобных численных оценок значений Δt_{mn} и τ_r говорит и сравнение наиболее вероятного радиуса r_{ew} атома водорода для его основного энергетического состояния ($n=1$), равного первому "боровскому" радиусу орбиты электрона в исследуемом атоме $r_{ew}=r_{e1}=0,529 \cdot 10^{-10} \text{ м}$, и указанной выше величины средней длины пробега $l_e=10^{-8} \text{ м}$ свободного электрона в металле [13, 15].

Из анализа полученных выражений (6), (7), (10) и (15)–(17) вытекает, что при переходе в атоме водорода электрона с m -ой на n -ую стационарную орбиту ($m > n$) уменьшение во времени орбитального магнитного потока ($\Phi_{en} < \Phi_{em}$) будет вызывать увеличение орбитального электрического тока ($i_{en} > i_{em}$ и $\Delta i_{mn} > 0$). Такие изменения в исследуемом атоме орбитальных магнитных потоков Φ_{em} , Φ_{en} и орбитальных электрических токов i_{em} , i_{en} полностью соответствуют закону ЭМИ Фарадея [6, 11], когда обусловленный изменяющимся во времени магнитным потоком индукционный электрический ток в веществе будет противодействовать изменению, порождающему его (этот ток). В результате такого противодействия возрастание во времени магнитного потока будет приводить к уменьшению индукционного электрического тока в веществе, а его (потока) временное уменьшение – к увеличению соответствующего тока. Такому электрофизическому (электродинамическому) механизму, как мы теперь видим, подчиняются и микроэлектромеханические процессы, протекающие для связанных электронов в атомной оболочке рассматриваемого атома вещества.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Предложен новый электродинамический подход для нерелятивистского приближенного описания микроэлектромеханических процессов в простейшем атоме вещества – атоме водорода, базирующийся, в основном, на квантовой теории атома Бора и законе электромагнитной индукции Фарадея.

2. Показано, что в рассматриваемом атоме вещества каждой разрешенной условием квантования Бора-Зоммерфельда n -ой стационарной орбите (n -му энергетическому уровню) соответствует свой квантованный орбитальный электрический ток i_{en} , квантованный орбитальный электрический потенциал Φ_{en} и квантованный орбитальный магнитный поток Φ_{en} .

3. Межорбитальный переход электрона в атомной оболочке исследуемого атома сопровождается квантованными изменениями орбитального электрического тока i_{en} , орбитального электрического потенциала Φ_{en} и орбитального магнитного потока Φ_{en} , удовлетворяющими закону электромагнитной индукции Фарадея и положениям квантовой теории атома Бора.

4. На основании предложенного подхода для рассматриваемого атома вещества впервые выполнен приближенный аналитический расчет длительности перехода электрона Δt_{mn} с m -ой на n -ую стационарную орбиту атомной оболочки ($m > n$).

5. Полученные приближенные расчетные результаты по исследованию в атоме водорода микроэлектромеханических внутриатомных процессов углубляют наши знания по электрофизическому (электродинамическому) механизму, лежащему, как мы можем теперь обоснованно предположить, в основе протекающих в веществе на атомарном уровне материальных явлений микромира.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Иосифьян А.Г. Эволюция физических основ электротехники и электродинамики// Электричество.-1987.-№12.-С.18-29.
- [2] Иосифьян А.Г. Эволюция физических основ электротехники и электродинамики// Электричество.-1989.-№9.-С.16-26.
- [3] Астафуров В.И., Бусев А.И. Строение вещества.- М.: Просвещение, 1977.-160с.
- [4] Кудрявцев П.С. Курс истории физики.- М.: Просвещение, 1974.-312с.
- [5] Кузьмичев В.Е. Законы и формулы физики/ Отв. ред. В.К. Тартаковский.- Киев: Наукова думка, 1989.-864с.
- [6] Кухлинг Х. Справочник по физике/ Пер. с нем. под ред. Е.М. Лейкина.- М.: Мир, 1982.-520с.
- [7] Справочник по теоретическим основам радиоэлектроники/ Под ред. Б.Х. Кривицкого, В.Н. Дулина, Т.1.-М.: Энергия, 1977.-504с.
- [8] Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.Н., Питаевский Л.П. Квантовая электродинамика.- М.: Наука, 1980.-704с.
- [9] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред.- М.: Гостехиздат, 1957.-532с.
- [10] Шмидт В.В. Введение в физику сверхпроводников.- М.: Наука, 1982.-238с.
- [11] Тамм И.Е. Основы теории электричества.- М.: Наука, 1976.-616с.
- [12] Максвелл Дж. К. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля.- М.: Гостехиздат, 1954.-687с.
- [13] Кнопфель Г. Сверхсильные импульсные магнитные поля.- М.: Мир, 1972.-391с.
- [14] Баранов М.И. Волновое распределение свободных электронов в проводнике с электрическим током проводимости// Электротехника.-2005.-№7.-С.25-33.
- [15] Баранов М.И. Квантовомеханическая модель быстрого нагрева проводника электрическим током проводимости большой плотности// Электротехника.-2006.-№4.-С.38-44.

Поступила 27.01.2006