

УДК 530.1:536.2

МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ И ГИРОСКОПИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АТОМА ВОДОРОДА

Н.И. Никитенко

Институт технической теплофизики НАН Украины, г. Киев

На базе молекулярно-радиационной теории переноса массы, энергии и импульса сформулирован механизм образования атома водорода в газовой среде, содержащей электроны и протоны. Представлена математическая модель взаимодействия частиц при возникновении атома и получены в рамках классической физики формулы для радиус-векторов, скоростей движения, энергии, моментов количества движения этих частиц. Указанные формулы в пределе, когда масса ядра стремится к бесконечности, переходят в формулы Бора, полученные в результате введения трех постулатов. Построена гироскопическая модель атома, учитывающая наличие в атоме виртуальных фотонов, в которой состояние атома, в отличие от модели Бора, характеризуется двумя квантовыми числами. Приведена система уравнений квантовой механики для стационарных состояний системы частиц вещества и поля, которая построена без привлечения гипотезы де Бройля.

Ключевые слова: механизм образования атома, виртуальный фотон, квантовое число, электрический диполь, молекулярно-радиационная теория, закон интенсивности спектрального излучения частиц.

Введение. Попытки объяснения полосатого спектра излучения, испускаемого раскаленным газом и паром, на базе планетарной модели строения атомов, предложенной Резерфордом, не дали положительного результата. В соответствии с теорией Резерфорда электрон, вращающийся вокруг положительно заряженного ядра, должен непрерывно испускать электромагнитную энергию. Теряя энергию, электрон будет двигаться по спирали, приближаясь к ядру. Исчерпав свою энергию, он должен упасть на ядро. Однако атомы являются весьма устойчивыми образованиями и могут существовать весьма долго.

Существенный шаг в развитие представлений о строении атома был сделан в 1913 г. Бором, предложившим теорию, которая объединяет планетарную модель атома с квантовой теорией света. Основные положения своей теории Бор сформулировал [1, 2] в виде трех постулатов, содержание которых заключается в следующем: электрон может вращаться вокруг ядра только по некоторым определенным круговым орбитам, которые получили название стационарные орбиты; двигаясь по стационарной орбите, электрон не излучает электромагнитную энергию; излучение и поглощение кванта электромагнитного излучения происходит при скачкообразном переходе электрона с одной стационарной орбиты на другую, причем энергия кванта равна разности энергий атома в конечном и исходном состояниях.

Теория Бора объяснила не только природу атомных спектров, как результат перехода электронов с одних стационарных орбит на другие, но и впервые позволила рассчитать не только известные в то время серии спектральных линий в видимой части спектра, но и предсказать существование и местоположение неизвестных в то время спектральных серий водорода в ультрафиолетовой и инфракрасной областях. Но теория Бора характеризуется внутренней противоречивостью. Классическая электродинамика не допускает движения заряженной частицы по круговой орбите без излучения, и согласно классической механике электрон может вращаться по любым орбитам. Вместе с тем законы электродинамики и механики используются для расчета сил, действующих на электрон в атоме. Переход электрона на новую орбиту, отделенную от исходной определенным расстоянием, требует некоторого времени. В течение этого времени электрон должен находиться между двумя стационарными орбитами. Но такие промежуточные состояния запрещаются теорией, поскольку постулируется их пребывание на строго стационарных орбитах.

Отмеченные недостатки были, в основном, преодолены в 20-х годах XX века, после возникновения и развития квантовой или волновой механики. В основе этой механики лежат представления Планка о квантах энергии, Эйнштейна о фотонах, экспериментальные данные о существовании дискретных физических величин, характеризующих состояние частиц микромира (в частности, энергии и импульса), гипотеза де Бройля, переносящая представления о корпускулярно-волновой природе электромагнитного излучения на частицы вещества. Эта гипотеза не базируется на законах сохранения. Основным аргументом в пользу справедливости гипотезы де Бройля является возникновение дифракционной картины электронов, например, при отражении пучка электронов от поверхности кристалла. Однако в [3] показано, как указанное явление дифракции может быть объяснено без привлечения гипотезы де Бройля с позиций детерминизма на базе молекулярно-радиационной теории.

Основное уравнение квантовой механики – уравнение Шредингера – получено в результате использования гипотезы де Бройля и некоторых аналогий между механикой и оптикой. Решение этого уравнения позволило получить только вероятность местонахождения частицы в данной точке пространства. Оно не дает возможность найти траекторию частицы, ее координаты и импульс в тот или иной мо-

мент времени. Это означает, что квантовая механика отказалась от попыток предсказать точно, что произойдет с частицами вещества в определенных условиях [4].

Ниже излагается механизм образования и гироскопическая модель атома водорода, которая не противоречит законам классической механики и электродинамики. Рассмотрен также подход к получению уравнений квантовой механики, который не требует привлечения гипотезы де Бройля.

Механизм образования и гироскопическая модель атома водорода. Рассмотрим следующий механизм образования атома водорода в разреженном газе, находящемся в равновесном состоянии и содержащем электроны и протоны. Частицы газа распределены по скоростям и энергиям. Образование электрона может произойти в результате сближения траекторий электрона и протона, обладающих различными скоростями и энергиями. Если расстояние r между центрами этих частиц при наибольшем сближении меньше минимального радиуса стационарной орбиты r_{\min} электрона в атоме, то электрон упадет на протон и образование атома произойти не может. Не может образоваться электрон и в том случае, когда величина r больше максимального радиуса стационарной орбиты r_{\max} . Если $r_{\min} \leq r \leq r_{\max}$, то атом может образоваться при условии, что величина r и энергия E_e сближающегося электрона равны радиусу и энергии электрона на некоторой стационарной орбите. Когда величин r или E_e несколько превышают значения этих величин для стационарной орбиты, то сближающийся электрон может выйти вначале на эллиптическую орбиту, а затем, в результате излучения фотона соответствующей энергии, перейти на стационарную круговую орбиту.

Для замкнутой системы материальных точек, обладающих массами m_1, m_2, \dots и радиус – векторами $\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \dots$, сумма моментов массы отдельных точек относительно центра масс равна нулю, т.е. $\sum \mathbf{r}_j m_j = 0$. Из последнего уравнения следует, что центр масс атома водорода лежит на прямой, проходящей через центры электрона и протона, и определяется уравнением $m_e r_e = m_p r_p = m_p (r - r_e)$, где r_e и r_p – расстояния электрона и протона от центра масс, причем $r_p + r_e = r$. Отсюда находим, что

$$r_p = \frac{m_e r}{m_e + m_p}, \quad r_e = \frac{m_p r}{m_e + m_p}, \quad \frac{r_e}{r_p} = \frac{m_p}{m_e}. \quad (1)$$

Пусть скорость электрона относительно протона в момент их наибольшего сближения равна \bar{w}_e . В тот же момент времени скорость \bar{w}_c движения центра масс частиц атома водорода относительно протона ($\bar{w}_p = 0$) определяется из условия, что количество движения материальной системы равняется количеству движения центра масс в произвольной системе координат. Отсюда следует, что $m_e \bar{w}_e = (m_e + m_p) \bar{w}_c$ и скорость $\bar{w}_c = m_e \bar{w}_e / (m_e + m_p)$. В системе, связанной с центром масс, скорости движения электрона и протона равны

$$\mathbf{w}_e = \bar{\mathbf{w}}_e - \mathbf{w}_c = \frac{m_p \bar{\mathbf{w}}_e}{m_e + m_p}, \quad \mathbf{w}_p = \bar{\mathbf{w}}_p - \mathbf{w}_c = -\frac{m_e \bar{\mathbf{w}}_e}{m_e + m_p}. \quad (2)$$

Из выражений (1) и (2) следует, что

$$\frac{r_e}{r_p} = \frac{w_e}{w_p} = \frac{m_p}{m_e}. \quad (3)$$

Согласно (3) в момент наибольшего сближения угловые скорости электрона $\omega_e = w_e / r_e$ и протона $\omega_p = w_p / r_p$ одинаковы и совпадают с угловой скоростью вращения ω атома вокруг своей оси, проходящей центр масс системы.

Суммарный момент количества движения L_a электрона и ядра атома водорода относительно центра их масс равен сумме моментов количества движения электрона $L_e = m_e r_e w_e$ и протона $L_p = m_p r_p w_p$ относительно того же центра. Так как согласно (3) $m_p r_p = m_e r_e$, выражение для L_a можно записать в виде

$$L_a = m_e r_e w_e + m_p r_p w_p = m_e r_e \bar{w}_e. \quad (4)$$

Согласно теореме о моменте количества движения производная по времени от момента количества движения материальной точки относительно неподвижного центра равна моменту той силы, под

влиянием которой движется материальная точка относительно того же центра. Если сила F , действующая на материальную точку, является центральной силой, то момент этой силы относительно центра масс равен нулю и при этом импульс вращения должен оставаться неизменным во времени, причем траектория материальной точки лежит в неподвижной плоскости, которая проходит через векторы \mathbf{r}_e , \mathbf{r}_p , \mathbf{w}_e , \mathbf{w}_p и центр масс.

Для возникновения кругового движения фотона и протона относительно центра масс системы им необходимо сообщить центростремительное ускорение, которое должно быть равно центростремительной силе, возникающей вследствие движения частиц по круговым орбитам. Это ускорение создается силой кулоновского взаимодействия электрона и ядра атома.

Центростремительные силы для электрона и протона согласно уравнениям (1) и (2) имеют одинаковую абсолютную величину и определяются выражением

$$F_c = \frac{m_e w_e^2}{r_e} = \frac{m_p w_p^2}{r_p} = \frac{m_e m_p \bar{w}_e^2}{r(m_e + m_p)}. \quad (5)$$

Одинаковую абсолютную величину для электрона и протона имеют и силы кулоновского взаимодействия, которые относятся к центральным силам,

$$F_K = e^2 / r^2. \quad (6)$$

При вращательном движении атома водорода относительно центра масс, центростремительные силы уравновешиваются силами электрического взаимодействия, поэтому согласно (5), (6)

$$\frac{m_e m_p \bar{w}_e^2}{m_e + m_p} = \frac{e^2}{r}. \quad (7)$$

Из уравнений (5) – (7) получаем следующие выражения для кинетических энергий электрона и протона

$$E_{к,е} = \frac{m_e w_e^2}{2} = \frac{r_e e^2}{2 r^2}, \quad E_{к,р} = \frac{m_p w_p^2}{2} = \frac{r_p e^2}{2 r^2}. \quad (8)$$

В результате сложения этих уравнений находим, что кинетическая энергия E_K атома равна

$$E_K = \frac{m_e w_e^2}{2} + \frac{m_p w_p^2}{2} = \frac{1}{2} \frac{e^2}{r} = -\frac{1}{2} E_{\Pi}. \quad (9)$$

Потенциальная энергия E_{Π} частиц с зарядами q_1 и q_2 , находящихся на расстоянии r друг от друга, определяется как работа перемещения этих частиц из положения с нулевой потенциальной энергией (при $r = \infty$) на заданное расстояние r :

$$E_{\Pi} = \int_{\infty}^r \frac{q_1 q_2}{r^2} dr = -\frac{q_1 q_2}{r}. \quad (10)$$

Можно показать, что атом водорода, вращающийся относительно оси, проходящей через центр масс составляющих его частиц, не теряет энергию. Образовавшийся в результате сближения электрона и протона атом водорода представляет собой электрический диполь. Он состоит из двух зарядов $+e$ и $-e$, находящихся на расстоянии $d = r$, которые вращаются с равномерной угловой скоростью ω относительно центра масс. Электромагнитное поле, создаваемое диполем, обладающим моментом $p = ed$ и равномерно вращающимся вокруг своей оси x , характеризуется функциями [5]:

- напряженности электрического поля $E = p\omega\mu \cos \gamma / (4\pi r^2)$;
- напряженности магнитного поля $H = p^2\omega\mu\sqrt{3\cos^2 \gamma + 1} \cos \gamma / (8\pi r^3)$;
- вектора Пойнтинга $S = p^2\omega\mu\sqrt{3\cos^2 \gamma + 1} \cos \gamma / (4\pi r^2)$.

Здесь μ – магнитная проницаемость среды; γ – угол между радиус-вектором ρ точки, в которой определяются эти функции, и осью x , являющейся нормалью к плоскости вращения диполя. Поскольку интеграл

$$\int_{\gamma=0}^{2\pi} S d\gamma = 0, \quad (11)$$

то общий поток энергии от вращающегося диполя в окружающее пространство равен нулю и при отсутствии внешних возмущений такой диполь является устойчивым (жестким). Это обстоятельство позволяет считать, что энергия поля $E_{\text{пол}}$ в атоме, временно находящемся в стационарном состоянии, равна энергии электростатического поля, связанного с частицами атома. Вращательное движение системы частиц, образующих атом, подобно движению гироскопа, обладающего осью динамической симметрии, которая проходит через его центр тяжести. В связи с этим представленную модель атома можно назвать гироскопической.

Энергия E атома в системе координат, связанной с центром его масс, складывается из кинетической $E_{\text{к}}$ и потенциальной $E_{\text{п}}$ энергии частиц

$$E = E_{\text{к}} + E_{\text{п}} = \frac{1}{2} E_{\text{п}} = -\frac{1}{2} \frac{e^2}{r}. \quad (12)$$

Из условия (7) и выражений (1) и (4) следует, что

$$r = \frac{r^2(m_e + m_p)}{e^2 m_e m_p \bar{w}_e^2} = \frac{L_a^2(m_e + m_p)}{e^2 m_e m_p}.$$

Тогда соотношение (12) можно записать в виде

$$E = -\frac{1}{2} \frac{e^2}{r} = -\frac{e^4 m_e}{2 L_a^2} \frac{m_p}{m_e + m_p}. \quad (13)$$

Атом может перейти с энергетического уровня E_2 на более низкий уровень E_1 , если энергия, отвечающая каждому из уровней, кратна кванту энергии h . Это обстоятельство существенно уменьшает число энергетических уровней, на которых может находиться атом.

Экспериментальной основой теории строения атома служат данные о спектрах химических элементов. Линейчатый спектр излучения атомов водорода достаточно точно описывается формулой Бальмера–Ридберга

$$\nu^* = \nu/c = R/n^2 - R/j^2, \quad (14)$$

где R – число Ридберга; n и j – целые числа, $n = 1, 2, \dots$, $j = n + 1, n + 2, \dots$. Вследствие различия значений R для разных значений массы M ядра атома проявляется изотопический эффект, обусловленный существованием нескольких изотопов одного и того же химического элемента. Для смеси изотопов этот эффект проявляется возникновением дополнительных спектральных линий к тем линиям, которые отвечают изотопу с наибольшей распространенностью. Интенсивности этих линий относятся, как процентные содержания изотопов в веществе, а смещение длин волн друг относительно друга для изотопов с массами M' и M'' приближенно определяется соотношением $\Delta\lambda/\lambda = m_e \Delta M / M^2$, $\Delta M = M'' - M'$, M – средняя масса ядра. Используется также приближенная формула $\Delta\lambda/\lambda = (R' - R'')/R'$, где R' и R'' – постоянные Ридберга для обоих изотопов.

Излучая квант энергии $h\nu$, атом переходит из одного состояния с энергией E_j в другое состояние с энергией $E_n = E_j - h\nu$. Поэтому можно записать

$$\nu = E_j/h - E_n/h. \quad (15)$$

Сравнивая последнее уравнение с соотношениями (14) и (15) находим, что $E_n = -hRc/n^2$. Тогда в соответствии с (13) приходим к уравнению,

$$\frac{e^4 m_e}{2 L_a^2} \frac{m_p}{m_e + m_p} = \frac{hRc}{n^2}, \quad (16)$$

содержащему две переменные величины L_a и n . Из (16) следует, что $L_a = An$, $A \neq A(n)$ и $R = e^4 m_e m_p / (2A^2 hc(m_e + m_p))$. Подставляя в последнее выражение значение экспериментально полученной для атома водорода константы R , находим, что с достаточно высокой точностью $A = h(2\pi)^{-1} \sqrt{m_p / (m_e + m_p)}$. При этом постоянная Ридберга для водорода выражается через массу и заряд электрона, постоянную Планка и скорость света соотношением $R = 2\pi^2 e^4 m_e / h^3 = 1,097373 \cdot 10^{-5} \text{ см}^{-1}$. Этот результат хорошо согласуется со значением, полученным путем спектро-

скопических измерений ($1,09737443 \cdot 10^{-5} \text{ см}^{-1}$). Из приведенных выше соотношений следует, что для атомов, заряд которых равен Z , справедливы следующие формулы:

$$L_{an} = \frac{h}{2\pi} \sqrt{\frac{Zm_p}{m_e + Zm_p}} n, \quad r_e = \frac{h^2}{4\pi^2 Z e^2 m_e} \frac{Zm_p}{m_e + Zm_p} n^2, \quad r_p = \frac{h^2}{4\pi^2 Z e^2 (m_e + Zm_p)} n^2,$$

$$r = \frac{h^2}{4\pi^2 Z e^2 m_e} n^2, \quad w_e = \frac{2\pi Z e^2}{h} \sqrt{\frac{Zm_p}{m_e + Zm_p}} \frac{1}{n}, \quad w_p = \frac{2\pi Z e^2}{h} \frac{m_e}{\sqrt{Zm_p (m_e + Zm_p)}} \frac{1}{n},$$

$$\bar{w}_e = \frac{2\pi Z e^2}{h} \sqrt{\frac{m_e + Zm_p}{Zm_p}} \frac{1}{n}, \quad E_n = -\frac{2\pi^2 Z e^4 m_e}{h^2} \frac{1}{n^2}, \quad R = \frac{2\pi^2 Z^2 e^4 m_e}{h^3}, \quad n=1, 2, \dots \quad (17)$$

Частота линии спектра излучения атомов водорода при переходе атома водорода с энергетического уровня j на уровень n описывается формулой

$$\nu_{jn} = \frac{E_j - E_n}{h} = cR \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{j^2} \right), \quad (18)$$

Если положить, что $m_p \rightarrow \infty$, тогда $r_p \rightarrow 0$, $w_p \rightarrow 0$, $\bar{w}_e \rightarrow w_e$, и формулы (17) для L_{an} , r_e , w_e , E_n и R переходят в выражения, аналогичные тем, которые получены в теории Бора.

Отрицательные значения величины E_n , определяемые соотношениями (13) или (17), дают представление о затратах энергии, необходимых для разведения электрона и протона на бесконечно большое расстояние. Истинное значение энергии атома, находящегося на энергетическом уровне n , может быть определено следующим образом. Масса свободной от внешних сил частицы радиуса r_0 с электрическим зарядом q складывается из массы m_M механического и массы m_γ электромагнитного происхождения. Для неподвижной частицы масса m_γ равна массе ее электростатического поля в вакууме. При значениях $n=1$, $j \rightarrow \infty$ атом водорода находится на основном уровне E_{a1} . Иметь энергию, которая меньше энергии основного состояния E_{a1} , этот атом иметь не может. Поэтому массу $m_{a1} = E_{a1} / c^2$ можно считать массой покоя атома, определяемую по выражению

$$m_{a1} = m_{e1} + m_{p1}, \quad (19)$$

где m_{e1} и m_{p1} – масса электрона и ядра атома в основном состоянии. Тогда полная энергия атома на энергетическом уровне n в соответствии с (18) составит

$$E_{an} = E_{a1} + h\nu_{n1} = E_{a1} + hR \left(1 - \frac{1}{n^2} \right). \quad (20)$$

При увеличении n энергия и расстояние r между частицами возрастает. Когда $n \rightarrow \infty$, расстояние $r \rightarrow \infty$, т.е. частицы атома становятся свободными и их общая энергия

$$E_{a\infty} = E_{a1} + hR. \quad (21)$$

В квантовой механике принимается, что взаимодействие между заряженными частицами протекает следующим образом. Одна частица непрерывно испускает фотоны. Затем эти фотоны поглощаются другими частицами и служат переносчиками взаимодействия. Аналогично вторая частица испускает фотоны, которые поглощаются первой частицей. Таким образом, электрон с протоном в атоме водорода образуют связанную систему, для разрушения которой требуется определенная энергия. Представление о виртуальном обмене фотонами при электромагнитном взаимодействии частиц вещества правильно отражает зависимость силы взаимодействия от расстояния r между частицами. Точный механизм взаимодействия частиц вещества и поля в настоящее время неизвестен [1]. В квантовой механике принято считать, что до испускания фотона заряженная частица находится на минимально возможном энергетическом уровне. С точки зрения классической физики такой процесс невозможен, поскольку он не соответствует закону сохранения энергии. Однако он допустим согласно соотношению неопределенности Гейзенберга. Фотоны испускаются и вновь поглощаются за столь короткое время, что несогласованностью с законом сохранения можно пренебречь. Обнаружить промежуточные фотоны, переносящие взаимодействие между заряженными частицами не считается возможным. Поэтому эти фотоны называют виртуальными. Они могут превращаться в обычные фотоны, которые можно регистрировать подходящими

устройствами, если сообщить атому некоторую дополнительную энергию. Величина электрического заряда определяет интенсивность процессов возникновения и поглощения виртуальных фотонов.

Механизм взаимодействия электрона, протона и виртуального фотона в атоме водорода можно объяснить на базе закона интенсивности спектрального излучения частиц [6],

$$q_{i\nu} = \varepsilon_{\nu} i h \nu n_{i\nu}, \quad (22)$$

где $q_{i\nu}$ – энергия фотонов $h\nu$, которые излучаются за единицу времени $n_{i\nu}$ частицами единичного объема, находящимися по частоте ν на i -том энергетическом уровне, ε_{ν} – коэффициент излучения частицей фотонов частоты ν . Свободная частица, находящаяся на энергетическом уровне $i=1$, для которой можно положить $n_{i\nu}=1$, излучает фотон $h\nu$ через время, в среднем равное $1/\varepsilon_{\nu}$. Из закона Никитенко (22) вытекают формула Планка для спектрального излучения абсолютно черного макроскопического тела и закон распределения частиц тела по энергиям Максвелла-Больцмана [6].

После момента минимального сближения электрона и протона и выхода на стационарную орбиту электрон, который обладает массой покоя, превышающей его массу покоя в нормальном состоянии, в течение отрезка времени $1/\varepsilon_{\nu}$ испускает фотон $h\nu$ и переходит на нулевой энергетический уровень в координатах, связанных с электроном.

Поскольку атом в стационарном состоянии энергию не излучает, то испущенный электроном фотон должен быть поглощен внутри атома. Исходя из принципа подвижного равновесия, сформулированного Ле-Шателье, и прямолинейности равномерного движения фотона, можно принять, что испущенный электроном атома водорода фотон движется в радиальном направлении к ядру атома. При столкновении с протоном этот фотон, который становится виртуальным, “конденсируется” на его поверхности. Через время $1/\varepsilon_{\nu,pr}$, где $\varepsilon_{\nu,pr}$ – коэффициент излучения протона фотонов частоты ν , протон испускает виртуальный фотон в направлении электрона. Поглощением этого фотона электроном атома завершается первый цикл взаимодействия частиц в атоме водорода. Такие циклы многократно повторяются в период стационарного состояния атома. Вследствие процесса обмена энергией электрона и протона атома водорода при помощи виртуального фотона траектории частиц атома располагаются на поверхностях, отличных от сферических. Это находится в соответствии с современными представлениями о распределении вещества и зарядов по объему атома.

Атом водорода, находящийся на основном энергетическом уровне $n=1$ может поглотить фотон, частота которого ν_{j1} удовлетворяет условию (18). Далее этот атом, в соответствии с законом интенсивности спектрального излучения частиц, может последовательно поглощать фотоны той же частоты и переходить в состояния с энергией $E_{jk} = E_1 + k\nu_{j1}$, $k=2,3,\dots$. При этом в атоме содержатся k виртуальных фотонов частоты ν_{j1} , и состояние атома водорода характеризуется двумя квантовыми числами n и k . Вследствие того, что инертная масса виртуального фотона мала по сравнению с массой электрона, изменение радиуса орбиты электрона является незначительным. Отметим, что выражение для E_{jk} совпадает с выражением для энергии квантового осциллятора, отсчитываемой от нулевого уровня, которое широко используется в современной физике как приближенная модель реальных атомов, молекул и других частиц. В частности, формула для излучения абсолютно черного тела получена Планком в предположении, что это тело может быть представлено как ансамбль тождественных осцилляторов, энергия каждого из которых имеет дискретную величину, составленную из целого числа одинаковых порций энергии. В момент излучения фотонов (который определяется через коэффициент излучения фотонов) и перехода атома на основной энергетический уровень E_1 , частица излучает k фотонов частоты ν_{j1} и таким образом освобождается от виртуальных фотонов. С некоторой вероятностью частица с энергией E_{jk} в момент излучения фотонов может перейти на один из стационарных уровней E_{ζ} , причем $E_1 < E_{\zeta} < E_j$. При этом атом излучает k фотонов частоты, равной $\nu_{j1} - \nu_{\zeta 1}$, а частота сохраняющихся в атоме виртуальных фотонов равна $\nu_{\zeta 1}$.

Рассмотренная гироскопическая модель атома предполагает, что изменение во времени положения электрона, ядра и виртуального фотона в координатах, связанных с атомом, происходит с течением времени только вдоль прямой, проходящей через центры ядра и электрона, и характеризуется двумя квантовыми числами. При этом состояние атома описывается одномерными уравнениями, как и для модели Бора, содержащей одно квантовое число. Для описания состояния реального атома требуется большее число квантовых чисел. В квантовой механике на базе трехмерного уравнения Шредингера изучается состояние атома, не содержащего виртуальные фотоны.

Уравнений квантовой механики для стационарных состояний системы частиц вещества и поля. Ниже излагается математическая модель явлений переноса энергии и импульса в трехмерной постановке, описывающая поведение простейшего атома – атома водорода, включающего в себя электрон, протон и виртуальный фотон.

Уравнение, характеризующее амплитуду напряженности электрического вектора плоской монохроматической световой волны, распространяющейся вдоль оси x , можно записать в виде [7]

$$\psi_f = \psi_{f0} \sin[2\pi(vt - x/\lambda)] \quad (23)$$

Вторые производные от функции ψ_f по времени t и координате x равны

$$\frac{\partial^2 \psi_f}{\partial t^2} = -4\pi^2 v^2 \psi_f, \quad \frac{\partial^2 \psi_f}{\partial x^2} = -4\pi^2 \frac{1}{\lambda^2} \psi_f, \quad (24)$$

Отсюда следует, что $\partial^2 \psi_f / \partial t^2 = \lambda^2 v^2 \partial^2 \psi_f / \partial x^2$. Подставляя в последнее уравнение выражение $\lambda = c/v$ и переходя к пространственным координатам, получаем волновое уравнение для световой волны

$$\frac{\partial^2 \psi_f}{\partial t^2} = c^2 \nabla^2 \psi_f. \quad (25)$$

После исключения из (25) времени t с помощью первого из выражений в (24) и обозначая через p_f импульс фотона $h\nu/c$, приходим к следующему уравнению световой волны для стационарных состояний системы

$$\nabla^2 \psi_f + \frac{4\pi}{h^2} p_f^2 \psi_f = 0. \quad (26)$$

С точки зрения фотонной теории плотность электромагнитного поля определяется числом фотонов в единичном объеме рассматриваемой области. Согласно волновой теории света, плотность энергии пропорциональна квадрату амплитуды напряженности электрического вектора световой волны. Для одного фотона квадрат амплитуды ψ_f , нормированной тем условием, что вероятность обнаружить фотон во всей рассматриваемой области V равна единице, т.е. $\int_V |\psi_f|^2 dV = 1$, позволяет определить вероятность попадания фотона в тот или другой элемент области. В области, занятой свободным атомом водорода, вероятность обнаружить и электрон, и протон также равна единице. Суммарные значения энергии и импульса всех частиц атома в отсутствие внешних воздействий остаются неизменными. В работе [3] показано, что при падении пучка электронов на дифракционную решетку, электроны испускают фотоны таким образом, что каждому значению импульса фотона отвечает строго определенный импульс электрона отдачи. При этом образуются подобные дифракционные картины фотонов и электронов.

Исходя из аналогии дифракционных картин фотонов и электронов, экспериментально установленной при наблюдении взаимодействия пучка электрона с кристаллом, а также результаты расчета дифракционных картин для электронов и фотонов, возникающих при падении пучка электронов на дифракционную решетку [3], можно принять, что волновые уравнения, описывающие движение частиц вещества и фотонов в атомах, имеют аналогичный вид. Поскольку уравнение (26) по форме аналогично уравнению Шредингера и содержит только один варьируемый параметр – квадрат импульса фотона, можно принять, что уравнения, описывающие движение электрона и ядра в атоме, могут быть записаны следующим образом

$$\nabla^2 \psi_e + \frac{4\pi}{h^2} p_e^2 \psi_e = 0, \quad \nabla^2 \psi_{pr} + \frac{4\pi}{h^2} p_{pr}^2 \psi_{pr} = 0. \quad (27)$$

Если электрон движется в потенциальном поле, его скорость $w_e \ll c$, полная энергия E_e складывается из кинетической энергии $E_{ке} = m_e w_e^2 / 2$ и потенциальной энергии положения $E_{пе}$, тогда $m_e w_e^2 / 2 = E_e - E_{пе}$ или $p_e^2 = m_e^2 w_e^2 = 2m_e(E_e - E_{пе})$. Подставляя это выражение в первое из уравнений (27), получаем

$$\nabla^2 \psi_e + \frac{8\pi}{h^2} m_e (E_e - E_{пе}) \psi_e = 0. \quad (28)$$

В таком виде волновое уравнение для электрона совпадает со стационарным уравнением Шредингера, записанным для электрона атома водорода. Аналогичный вид имеет уравнение, определяющее вид функции ψ_{pr} для протона.

Волновая функция Ψ для системы из N частиц вещества и поля определяется в конфигурационном пространстве с $3N$ степенями свободы. Знание Ψ позволяет определить [7]. волновую функцию Ψ_k любой подсистемы, путем интегрирования Ψ по координатам всех частиц, кроме k -ой, а затем получить вероятность ее нахождения в элементе dV объема рассматриваемой системы.

Выводы. На основе молекулярно-радиационной теории переноса построен механизм образования атома водовода в газовой среде, содержащей электроны и протоны. Представлена математическая модель взаимодействия частиц и найдены в рамках классической физики формулы для радиус-векторов, скоростей движения, энергии, моментов количества движения частиц, образующих атом. Эти формулы в пределе, когда масса ядра стремится к бесконечности, переходят в формулы Бора, полученные в результате введения трех постулатов. Построена гироскопическая модель атома, учитывающая наличие в атоме виртуальных фотонов, в которой состояние атома (в отличие от модели Бора) характеризуется двумя квантовыми числами. Приведена система уравнений квантовой механики для стационарных состояний системы частиц вещества и поля, которая построена без привлечения гипотезы де Бройля. Представленные в статье результаты могут быть использованы для дальнейшего уточнения параметров состояния частиц многоэлектронных атомов.

РЕЗЮМЕ

На базі молекулярно-радіаційної теорії переносу маси, енергії та імпульсу сформульований механізм утворення атома водоводу в газовому середовищі, що містить електрони і протони. Представлено математичну модель взаємодії часток при виникненні атома і отримані в рамках класичної фізики формули для радіус-векторів, швидкостей руху, енергії, моментів кількості руху цих частинок. Зазначені формули в межі, коли маса ядра прямує до нескінченності, переходять у формули Бора, отримані внаслідок запровадження трьох постулатів. Побудована гіроскопічна модель атома, що враховує наявність в атомі віртуальних фотонів, в якій стан атома, на відміну від моделі Бора, характеризується двома квантовими числами. Наведено систему рівнянь квантової механіки для стаціонарних станів системи частинок речовини і поля, яка побудована без залучення гіпотези де Бройля.

Ключові слова: механізм утворення атома, віртуальний фотон, квантове число, електричний диполь, молекулярно-радіаційна теорія, закон інтенсивності спектрального випромінювання частинок.

SUMMARY

On the basis of γ -radiation theory transfer of mass, energy and momentum formulated mechanism of the atom in the gas conduit medium containing electrons and protons. A mathematical model of the interaction of the particles in the event of an atom and received within the framework of classical physics formula for the radius vector, velocity of motion, energy and angular momentum of the particles. These formulas in the limit where the core mass approaches infinity, become Bohr formula resulting from the introduction of the three postulates. Gyro built an atomic model that takes into account the presence of virtual photons in an atom, in which the state of the atom, in contrast to the model Bora, is characterized by two quantum numbers. See the system of equations of quantum mechanics for the stationary states of the particles of matter and fields, which was built without using the hypothesis de Breuila.

Keywords: mechanism of the atom, the virtual photon, the quantum number, the electric dipole, molecular radiation theory, the law of the spectral intensity of the radiation particles.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Яворский Б. М. Справочник по физике / Б. М. Яворский, А. А. Детлаф. – М.: Наука, 1974. – 943 с.
2. Эрдеи-Груз Т. Основы строения материи / Т. Эрдеи-Груз. – М.: Мир, 1997. – 488 с.
3. Никитенко Н.И. Исследование процессов переноса энергии, массы и импульса при взаимодействии пучка электронов с атомной решеткой на базе молекулярно-радиационной теории / Н.И. Никитенко // Вісн. Донецьк. нац. ун-ту. Сер. А: Природн. науки. – 2012. – № 1. – С. 127-133.
4. Фейнман Р. Фейнмановские лекции по физике. Т. 3,4 / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сендс. – М.: Мир, 1977. – 496 с.
5. Брон О.Б. Электромагнитное поле как вид материи / О.Б. Брон. – М.-Л.: Гостехиздат, 1962. – 260 с.
6. Никитенко Н.И. Теория тепломассопереноса / Н.И. Никитенко. – К.: Наук. думка, 1983. – 350 с.
7. Карякин Н.И. Краткий справочник по физике / Н.И.Карякин, К.Н.Быстров, П.С. Киреев. – М.: Высш. школа, 1962. – 560 с

Поступила в редакцию 20.12.2012 г.