

УДК 530.1

## Варианты выражения постоянной Планка через константы электродинамики и модель атома с колеблющимся электроном\*

Л. А. Похмельных

Компания ЭЛАТ, г. Мехико, Мексика

*Выведены соотношения связи постоянных электродинамики, квантовой механики и параметров атома. Соотношения использованы для уточнения потенциала отрыва и радиуса равновесия электрона в атоме водорода. Развита модель колеблющегося электрона в ранее предложенной электродинамической модели атома. Из модели следует: частоты излучений возбужденного атома тождественны частотам радиальных колебаний электрона на метастабильных уровнях; уровни с большими частотами расположены ближе к основному; сплошной спектр излучения состоит из многих дискретных частот серии, примыкающих к частоте основного уровня; работа лазера реализуется по двухуровневой схеме.*

В работе [1] показано, что постоянная Планка представляет собой комбинацию констант электродинамики. Предложена электродинамическая модель атома водорода, построенная на представлении М. Фарадея о реальности силовых линий центрального поля электрона. В модели развито представление об электро-не, равновесие которого в атоме не зависит от скорости вращения, а частоты излучения совпадают с частотами его периодического движения. Отмечена возможность двух вариантов модели атома: с вращающимся и с колеблющимся электроном.

Ниже развивается вариант модели с колеблющимся электроном. Представлены различные аналитические соотношения, связывающие постоянные квантовой механики с константами электродинамики.

### Электродинамическое описание образования атома водорода

В работе [1] показано, что электродинамический подход при описании процесса вступления

\* Статья публикуется в дискуссионном порядке.

в ~~связь электрона с протоном~~ с образованием атома водорода и запись закона сохранения энергии в виде

$$1/2m_e V_1^2 + eU_1 = 0 \quad (1)$$

позволяют выразить частоту Ридберга через константы электродинамики.

В (1) имеем:

$m_e$  — масса электрона;

$V_1$  — скорость электрона при достижении стационарного состояния;

$e$  — элементарный заряд;

$U_1$  — потенциал ионизации атома водорода

$$U_1 = -(4\pi\epsilon_0)^{-1} e r_1^{-1}, \quad (2)$$

где  $r_1$  — радиус равновесия электрона;

$\epsilon_0$  — электрическая константа.

Выражение (1) не включает энергию излучения электроном электромагнитных волн, так как в электродинамической модели предполагается, что излучение происходит на частоте периодических движений электрона в точке равновесия, т. е. оно начинается после завершения электроном перехода в равновесное состояние. (Согласно квантовой механике запись (1) неверна, так как предполагается, что излучение происходит во время перехода электрона и, следовательно, в записи (1) должна учитываться излученная энергия. Кроме того, в квантовой логике “испускаемые частоты не имеют ничего общего с частотами периодического движения электронов” [2]).

Если предположить, что периодическим движением электрона в атоме является его вращение по круговой орбите на удалении от ядра  $r_1$ , то частота вращения в момент выхода на равновесный радиус определяется равенством

$$v_1 = V_1(2\pi r_1)^{-1}.$$

Согласно (1) скорость электрона, приобретенная в момент выхода на орбиту, равна

$$V_1 = (-2m_e^{-1} e U_1)^{1/2} = (4\pi\epsilon_0)^{-1/2} 2^{1/2} m_e^{-1/2} e r_1^{-1/2}, \quad (3)$$

поэтому начальная частота вращения

$$\begin{aligned} v_1 &= (4\pi\epsilon_0)^{-1/2} 2^{-1/2} \pi^{-1} m_e^{-1/2} e^{-1/2} U_1^{3/2} = \\ &= (4\pi\epsilon_0)^{-1/2} 2^{-1/2} \pi^{-1} m_e^{-1/2} e r_1^{-3/2} = R, \quad (4) \end{aligned}$$

где  $R = 3,29 \cdot 10^{15} \text{ c}^{-1}$  — постоянная Ридберга.

Закон сохранения энергии может быть записан и для захватываемого извне электрона в водородоподобном ионе элемента  $Z$ . В этом случае он имеет вид

$$eU_z + 1/2m_e V_z^2 = 0, \quad (5)$$

где  $U_z = (4\pi\epsilon_0)^{-1} Ze r_z^{-1}$ ;

$V_z$  — орбитальная скорость;

$r_z$  — радиус равновесия электрона.

Для определения частоты периодического движения электрона в основном состоянии в произвольном водородоподобном ионе необходимо учесть зависимость радиуса равновесия от  $Z$

$$r_z = Z^1 r_1. \quad (6)$$

Зависимость (6) была применена при выводе аналитического выражения для расчета ионизационных потенциалов элементов периодической системы [3], а также при построении альфа-частичной модели атомного ядра [4], которая позволяет оценивать минимальную энергию отрыва нейтрона от произвольного нуклида. Положительные результаты работ [3] и [4] дают основание рассматривать (6) как реальность и физическую закономерность.

С учетом (6) потенциал отрыва  $U_z$  ближнего к ядру электрона в атоме элемента  $Z$  в (5) выражается через потенциал ионизации атома водорода  $U_1$  равенством

$$U_z = -(4\pi\epsilon_0)^{-1} Ze r_z^{-1} = -(4\pi\epsilon_0)^{-1} Z^2 e r_1^{-1} = Z^2 U_1.$$

С учетом (3), (4) и (6) частота вращения электрона в водородоподобном ионе элемента  $Z$

$$\begin{aligned} v_z &= V_z (2\pi r_z)^{-1} = (4\pi\epsilon_0) Z^2 2^{-1/2} \pi^{-1} U_1^{3/2} e^{-1/2} m_e^{-1/2} = \\ &= (4\pi\epsilon_0)^{-1/2} Z^2 2^{-1/2} \pi^{-1} e m_e^{-1/2} r_1^{-3/2} = Z^2 R. \end{aligned} \quad (7)$$

Как известно, квадратическая зависимость потенциала отрыва электрона от  $Z$  в водородоподобных ионах легких элементов прослеживается с высокой точностью [5].

Зависимости (4) и (7) показывают, что электродинамический подход адекватно описывает факты, касающиеся атома. Из них, в частности, следует, что потенциалам ионизации электронов соответствуют частоты их периодических движений на основных уровнях.

#### Взаимосвязь постоянных квантовой механики, констант электродинамики и параметров атома водорода

С учетом (3) и (2) кинетическая энергия периодического движения электрона на основном уровне атома водорода выражается через частоту  $\nu_1$

$$\begin{aligned} 1/2 m_e V_1^2 &= 2\pi^2 r_1^2 m_e \nu_1^2 = \\ &= (4\pi\epsilon_0)^{-2} 2\pi^2 e^2 U_1^{-2} m_e \nu_1^2 = h_e \nu_1^2, \end{aligned} \quad (8)$$

где коэффициент  $h_e$  может быть назван электродинамическим. Его величина равна

$$h_e = 2\pi^2 r_1^2 m_e = (4\pi\epsilon_0)^{-2} 2\pi^2 e^2 U_1^{-2} m_e =$$

$$= 2,01 \cdot 10^{-49} \text{ Дж} \cdot \text{с}^2.$$

Если первое равенство в (8) переписать как

$$1/2 m_e V_1^2 = (2\pi^2 r_1^2 m_e \nu_1) \nu_1, \quad (9)$$

то из [1] следует, что произведение в скобках представляет собой постоянную Планка. Связь постоянной Планка с электродинамическим коэффициентом определяется равенством

$$h = h_e \nu_1 = h_e R.$$

Из (9) следует, что в атоме водорода постоянная Планка не является коэффициентом при частоте вращения электрона на основной орбите, так как сама содержит в себе одну степень этой частоты. Это соотношение показывает также, что постоянная Планка не имеет физического смысла и не является самостоятельной физической константой, а представляет собой комбинацию констант электродинамики.

С учетом (2), (4), (9) постоянную Планка можно выразить через различные комбинации констант:

$$\begin{aligned} h &= 2\pi^2 r_1^2 m_e R; \\ h &= (4\pi\epsilon_0)^{-1/2} 2^{1/2} \pi e m_e^{1/2} r_1^{1/2}; \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} h &= (4\pi\epsilon_0)^{-2} 2\pi^2 e^2 U_1^{-2} m_e R; \\ h &= (4\pi\epsilon_0)^{-1} 2^{1/2} \pi e^{3/2} m_e^{1/2} U_1^{-1/2}. \end{aligned}$$

(В выражении (6) постоянной Планка из [1], равно второму выражению (10), содержится опечатка в показателе степени  $e$  по вине автора.)

Среднее значение постоянной, вычисленное на основе выражений (10)

$$h = (6,626172 \pm 3 \cdot 10^{-6}) \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с},$$

согласуется с принятым значением постоянной [6]

$$h = (6,626176 \pm 5,4 \cdot 10^{-6}) \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}.$$

Из выражений (10) следует, что входящие в них константы электродинамики, атома водорода, а также постоянные Планка и Ридберга должны иметь строго согласованные значения. В настоящее время эти константы определены в значительной степени независимо. Выражения (10) позволяют проверить их на взаимную согласованность и повысить точность значений, в частности, это касается радиуса основного состояния электрона в атоме водорода  $r_1$  и потенциала ионизации атома  $U_1$ .

Из выражений (10) и (4) радиус равновесия равен

$$r_1 = (4\pi\epsilon_0) 2^{-1} \pi^{-2} h^2 e^{-2} m_e^{-1};$$

$$r_1 = 2^{-1/2} \pi^{-1} h^{1/2} m_e^{-1/2} R^{-1/2};$$

$$r_1 = (4\pi\epsilon_0)^{-1/3} 2^{-1/3} \pi^{-2/3} e^{2/3} m^{-1/3} R^{-2/3}.$$

Наиболее точные значения дают второе и третье равенства, так как входящая в них постоянная Ридберга измерена с большим числом значащих цифр. При значениях  $e = 4,803242 \cdot 10^{-10}$  ед. СГСЭ;  $m_e = 9,109534 \cdot 10^{-28}$  г;  $R = 3,28984200 \cdot 10^{15}$  Гц [5] среднее по трем равенствам значение радиуса основного состояния электрона в атоме водорода равно

$$r_1 = (1,0583542 \pm 1 \cdot 10^{-7}) \cdot 10^{-10} \text{ м.}$$

Это значение в два раза больше боровского радиуса ( $5,2917706 \cdot 10^{-11}$  м). Из выражений (10) следует, что боровский радиус не отражает реальности.

Из (2) и (10) потенциал ионизации атома водорода равен:

$$U_1 = (4\pi\epsilon_0)^{-1} e r_1^{-1};$$

$$U_1 = (4\pi\epsilon_0)^{-1} 2^{1/2} \pi h^{-1/2} e m_e^{1/2} R^{1/2};$$

$$U_1 = (4\pi\epsilon_0)^{-2} 2\pi^2 h^{-2} e^3 m_e.$$

Эти равенства приводят к среднему значению

$$U_1 = 13,615227 \pm 4 \cdot 10^{-6} \text{ В.}$$

Сообщаемые и используемые другие значения потенциала (13,595 В; 13,597 В [6]; 13,53 В [6, 7]) не удовлетворяют равенствам (10) и, следовательно, не отвечают действительности.

Согласованность значений констант, входящих в выражения (10), свидетельствует о том, что эти значения и взаимосвязи отражают реальность. Ввиду этого выражения (10) могут быть использованы для проверки различных уравнений, зависимостей и теорий на согласованность с реальностью, т. е. с логикой электродинамики. В первую очередь это касается квантовой механики.

#### Равновесие и колебания электрона в атоме

Полученные соотношения справедливы при условии, если на некотором расстоянии от ядра существует устойчивое равновесие электрона. В работе [1] предложен электродинамический механизм его формирования, построенный с учетом двух фундаментальных фактов:

- из существования волнового излучения при электронных переходах следует, что кинетическая энергия периодического движения электрона должна уменьшаться. После излучения энергии в количестве  $W = -eU_1$  электрон должен остановиться. При вращении электрона на орбите постоянного радиуса спектр излучения атома водорода должен бы быть сплошным от начальной частоты  $\nu_1$  до нуля. Такой спектр, как известно, отсутствует;

- допущение равенства центробежной силы инерции и центростремительной силы электростатического притяжения электрона к протону при вращении электрона по кругу радиусом  $r_1$  в виде

$$m_e V_1^2 r_1^{-1} = (4\pi\epsilon_0)^{-1} e^2 r_1^{-2}$$

приводит к частоте вращения, отличающейся от частоты Ридберга из (10)

$$\begin{aligned} \nu_1 &= V_1 (2\pi r_1)^{-1} = (4\pi\epsilon_0)^{-1/2} 2^{-1} \pi^{-1} e m_e^{-1/2} r_1^{-3/2} = \\ &= 2^{-1/2} R \neq R. \end{aligned}$$

Из этих двух фактов следует, что законы Кеплера не описывают движение электрона на атомной орбите, в частности, что центробежная сила не участвует в формировании его радиального равновесия. Это приводит к необходимости поиска альтернативного электродинамического решения, которым является представление об электроне, колеблющемся относительно положения равновесия в радиальном направлении.

Представление о колеблющемся электроне имеет следующие преимущества:

- излучение электроном энергии производится на неизменной частоте независимо от энергии колебаний вплоть до полной остановки частицы. При неизменности радиуса равновесия это позволяет объяснить дискретность спектра излучения;

- центробежная сила не участвует в образовании равновесия электрона;

- нет необходимости в постулировании бесконечного вращения электрона в атоме. После излучения всей энергии электрон может покоиться в точке равновесия. (Это не исключает возможности вращения электронов на основных неизлучающих уровнях с очень большим временем затухания. В пользу существования таких вращений свидетельствует магнетизм отдельных элементов периодической системы.)

Представление о колеблющемся электроне дает возможность построить модель равновесия и излучения электрона в атоме. В модели используется представление М. Фарадея о реальности силовых линий центрального поля электрона. Это представление показало свою продуктивность при описании магнитных эффектов без использования понятия магнитного поля [8]. Главным практическим выходом описания явилось обнаружение прямой пропорциональности ЭДС индукции вызывающему ее току (а не производной тока по времени, как это постулируется уравнением Максвелла).

Представление о реальности силовых линий центрального поля электрона включает следующее:

- Электрон является центром, из которого расходятся конечное число реальных силовых линий электрического поля. (Силовые линии могут состоять из полимерных цепочек поляризованных элементов пустого пространства [1].)

- При вращательном, колебательном или поступательном движении электрона возникают деформации силовых линий, которые распространяются по линиям от электрона и проявляются как излучение в виде фотонов.

- Минимум потенциальной энергии электрического поля электрона соответствует точечно-симметричному распределению силовых линий в пространстве. Он достигается при покое электрона в про-

странстве. Асимметризация азимутального распределения линий сопровождается повышением потенциальной энергии поля. Асимметризация центрального поля возникает при движении электрона или замыкании его силовых линий на протон. При асимметризации поля возникает сила, действующая на электрон в направлении восстановления минимума энергии поля: при движении электрона сила направлена противоположно вектору скорости, а при замыкании линий на протон — действует как отталкивающая между электроном и протоном.

- Механизм силового взаимодействия электрона с протоном может быть представлен следующим образом. При сближении свободного электрона с протоном все большее число силовых линий его поля замыкается на протон. При этом усиливается пространственная асимметрия распределения линий, и на электрон действуют две противоположно направленные силы.

**Притяжение.** Если считать, что потенциал связи электрона в водородоподобном ионе элемента  $Z$  пропорционален числу силовых линий, замкнутых на ядро, то для потенциала  $U_{zk}$  произвольного возбужденного уровня радиуса  $r > r_1$  с учетом (6) могут быть записаны зависимости

$$U_{zk} = Z^2 U_1 \frac{r_1}{r} = Z^2 U_1 \frac{n_+}{n_e}; \quad r_1/r = n_+/n_e, \quad (11)$$

где  $U_1$  — потенциал ионизации атома водорода;  
 $n_e$  — полное число силовых линий у электрона;  
 $n_+$  — число силовых линий, замкнутых на ядро.

При (11) сила притяжения к ядру, действующая на электрон на расстоянии  $r$  в атоме элемента  $Z$ , с учетом (6) может быть представлена в виде

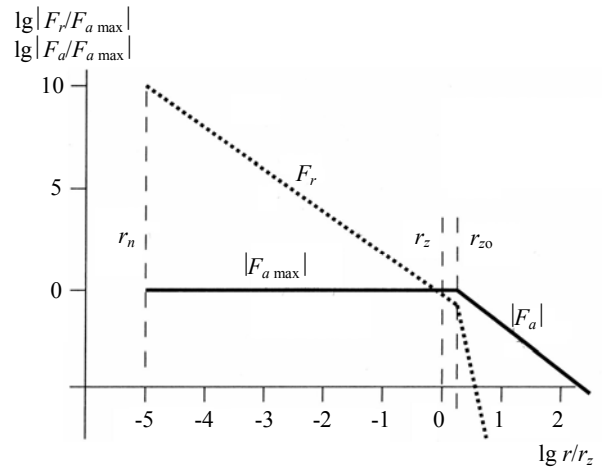
$$F_a = -(4\pi\epsilon_0)^{-1} Z e^2 \frac{1}{r^2} = -(4\pi\epsilon_0)^{-1} Z^3 e^2 \frac{1}{r_1^2} \left(\frac{n_+}{n_e}\right)^2. \quad (12)$$

При сближении электрона с ядром на некотором расстоянии  $r_{zo}$  все силовые линии электрона замыкаются на ядро ( $n_+ = n_e$ ) (рис. 1). На этом расстоянии сила притяжения электрона достигает своего максимального значения

$$F_{a \max} = -(4\pi\epsilon_0)^{-1} Z e^2 r_{zo}^{-2} = \\ = -(4\pi\epsilon_0)^{-1} Z^3 e^2 r_1^{-2} = \text{const}$$

оставаясь на удалениях  $r < r_{zo}$  постоянной.

**Отталкивание.** Сила отталкивания должна возникнуть вследствие асимметризации поля при приближении электрона к ядру и замыкания на него все большего числа силовых линий. Если после замыкания всех линий дальнейшее приближение сопровождается усилением асимметризации поля, то градиент потенциальной энергии поля и, следовательно, сила отталкивания должны возрастать на всех расстояниях от ядра вплоть до радиуса протона. При неизменности силы притяжения и возрастании силы отталкивания возможно устойчивое равновесие электрона.



**Рис. 1.** Предполагаемые радиальные зависимости сил отталкивания  $F_r$  и притяжения  $F_a$  в атоме элемента  $Z$ :  
 $r_n$  — радиус равновесия электрона в нейтроне;  $r_{zo}$  — радиус замыкания всех силовых линий электрона на ядро;  
 $r_z$  — радиус равновесия электрона

Экспериментальным подтверждением существования силы отталкивания, действующей на электрон на удалениях  $r < r_z$ , может служить факт ускорения электронов при бета-распаде нейтронов. Этот факт позволяет рассматривать нейтрон как протон-электронную систему, устойчивость которой подчиняется общей закономерности, действующей на атомных расстояниях вплоть до ядерных. Максимальная энергия электронов при распаде нейтронов ( $W_{\max} = 782$  кэВ) соответствует потенциалу отталкивания, имеющему радиальную зависимость,

$$U_r = K_r Z e^2 r^{-1}$$

и радиусу начала ускорения электрона при  $K_r = 1$  и  $Z = 1$   $r_n = 1,84 \cdot 10^{-15}$  м от центра протона. При произвольном количестве замкнутых на протон линий  $n_+$  потенциальная энергия электрона в нейтроне ввиду (11) будет

$$U_r = K_r e^2 r_n^{-1} (n_+/n_e). \quad (13)$$

Это позволяет записать отталкивающую силу со стороны ядра  $Z$  на расстояниях  $r \geq r_n$  в виде

$$F_r = (4\pi\epsilon_0)^{-1} Z K_r e^2 r^{-2} (n_+/n_e)^2. \quad (14)$$

На удалениях  $r > r_{zo}$  сила отталкивания должна убывать быстрее, чем сила притяжения. Зависимость (14) с учетом (11) удовлетворяет этому требованию, т. е.

$$F_r = (4\pi\epsilon_0)^{-1} Z K_r e^2 r^{-2} (n_+/n_e)^2 = \\ = (4\pi\epsilon_0)^{-1} Z K_r e^2 r_z^2 r^{-4}. \quad (15)$$

Равновесие электрона в атоме элемента  $Z$  возникает при равенстве сил  $F_{a \max}$  (13) и  $F_r$  (15) при  $n_+ = n_e$  на удалении  $r_z$

$$(4\pi\epsilon_0)^{-1} Z e^2 r_z^{-2} = (4\pi\epsilon_0)^{-1} Z K_r e^2 r_z^{-2}.$$

В случае достижения равновесия при замыкании на ядро не всех силовых линий равновесие сил записывается в виде

$$(4\pi\epsilon_0)^{-1}Ze^2r_z^{-2}(n_+/n_e)^2 = \\ = (4\pi\epsilon_0)^{-1}ZK_r e^2 r_z^{-2} (n_+/n_e)^2. \quad (16)$$

При радиальных колебаниях электрона относительно точки равновесия изменяется радиус без изменения числа линий, замкнутых на протон. Это может быть учтено при замене в правой части (16) постоянного значения  $r_z$  на периодически изменяющееся  $r$ . (Левая часть равенства ввиду (12) и (13) постоянна.) С учетом этого возвращающая сила  $F_v$ , действующая на электрон, равна

$$F_v = F_r - F_a = -(4\pi\epsilon_0)^{-1}Ze^2(n_+/n_e)^2[K_r r^{-2} - r_z^{-2}].$$

Постоянная квазиупругой силы в точке  $r_z$  с учетом (6) будет

$$dF/dr|_z = -(4\pi\epsilon_0)^{-1}2K_r Ze^2 r_z^{-3} (n_+/n_e)^2 = \\ = -(4\pi\epsilon_0)^{-1}2K_r Z^4 e^2 r_1^{-3} (n_+/n_e)^2.$$

Использование классической зависимости гармонических колебаний приводит при  $K_r = 1$  с учетом (4) к частоте радиальных колебаний

$$v_{zn} = (2\pi)^{-1}(1/m_e dF/dr)^{1/2} = (4\pi\epsilon_0)^{-1/2} Z^2 2^{-1/2} \times \\ \times \pi^{-1} e m_e^{-1/2} r_1^{-3/2} (n_+/n_e) = Z^2 R (n_+/n_e). \quad (17)$$

Совпадение (17) с (7) при  $n_+ = n_e$  означает, что периодическими движениями электронов в атомах могут быть радиальные колебания.

### Переходы в атоме водорода

Результат выражения (17) позволяет представить следующую картину процессов при вступлении электрона в связь с протоном с образованием атома водорода.

При приближении электрона к протону некоторая группа его силовых линий замыкается на протон и возникает сила притяжения. Силовые линии группы расположены под одним углом относительно прямой, соединяющей электрон с протоном. Электрон ускоряется в направлении к ядру, и его кинетическая энергия возрастает. Частица достигает временного равновесного удаления (уровня), отвечающего некоторому количеству замкнутых на протон линий (17). На этом уровне электрон начинает радиально колебаться с некоторой частотой, пропорциональной числу замкнутых линий, часть энергии колебаний излучается. Излучение распространяется через свободные силовые линии. После уменьшения энергии колебаний до некоторого критического значения новая группа свободных силовых линий замыкается на ядро, и электрон относительно бы-

стро (скачком) переходит на более близкий к ядру метастабильный уровень с более отрицательным потенциалом. При переходе электрон вновь приобретает кинетическую энергию, которая преобразуется в энергию колебаний на новом метастабильном уровне. Из-за большого количества силовых линий, замкнутых на протон, колебания возникают на более высокой частоте.

В процессе перехода в связанное состояние с образованием невозбужденного атома свободный электрон пробегает все промежуточные метастабильные уровни с возрастающей энергией связи. Излучение с них формирует серию дискретных частот. На основном уровне все силовые линии замыкаются на протон и электрон перестает излучать. На этом уровне электрон может колебаться и/или вращаться с минимальной потерей энергии или покоиться.

В данной схеме в отличие от квантово-механической метастабильные уровни с большими частотами и большими энергиями связи примыкают к основному неизлучающему.

При возбуждении электрона с основного уровня процесс идет в обратном направлении. В атоме водорода количественно он может быть представлен следующим образом. При возбуждении электрона на основном уровне освобождается от связи часть силовых линий и, согласно (11), электрон переходит на более удаленный метастабильный уровень. Зависимость (17) может быть выражена через число замкнутых или незамкнутых силовых линий, а также через радиусы равновесия электрона на  $k$ -м метастабильном уровне

$$v_{1k} = R(n_{k+}/n_e) = Rr_1/r_k = R(1 - n_k/n_e), \quad (18)$$

где  $r_k$  — радиус  $k$ -го метастабильного уровня;  $n_{k+}$ ,  $n_k$  — числа замкнутых на протон и свободных линий электрона на этом уровне, связанные условием  $n_k = n_e - n_{k+}$ .

Сравнение (18) с зависимостью частот в серии Лаймана

$$v_{1k} = R(1 - k^{-2}) \quad (19)$$

(где  $k = 1, 2, 3, \dots, k_{\max}$ ) позволяет рассматривать (19) как закон, по которому в атоме водорода замыкаются или освобождаются от связи с ядром силовые линии электрона. Из (18) и (19)

$$1 - 1/k^2 = (1 - n_k/n_e) = (n_{k+}/n_e) = r_1/r_k. \quad (20)$$

Согласно (20) каждому числу замкнутых на протон силовых линий отвечает определенный радиус равновесия электрона в атоме, на котором достигается минимум потенциальной энергии электрона. Основному уровню электрона соответствует значение  $k = \infty$ . Наиболее близко к основному расположен излучающий уровень с  $k_{\max}$ . Частота колебаний на нем равна

$$v_{\max} = R(1 - k_{\max}^{-2}).$$

Переход электрона при возбуждении с основного уровня на ближайший излучающий происходит при

освобождении от связи с протоном группы линий в отнесенном количестве

$$\Delta n = n_e - n_e(1 - k_{\max}^{-2}) = n_e k_{\max}^{-2} = 1.$$

Переход с первого излучающего уровня на второй, более удаленный, с  $k = k_{\max} - 1$  происходит при освобождении новой группы линий. Освобождение каждой новой группы линий вызовет переход электрона на более удаленный уровень.

Последним наименее связанным и наиболее удаленным метастабильным уровнем является уровень со значением

$$k = k_{\max} - (k_{\max} - 2) = 2.$$

С учетом (20) радиусы возбужденных состояний в серии Лаймана равны

$$r_k = r_1(1 - k^{-2})^{-1}.$$

Максимальный радиус возбуждения с  $k = 2$  равен  $(4/3)r_1$ . Значение  $k = 1$  соответствует полному освобождению электрона от связи с протоном.

#### Электроны с различными числами силовых линий

В работе [1] отмечено, что представление о существовании радиальной отталкивающей силы, действующей на электрон на атомных расстояниях вплоть до радиуса протона, позволяет увидеть общую закономерность в двух фактах, которые представляются несвязанными: в существовании нескольких частотных серий излучения у атома водорода и в непостоянстве энергий электронов при распаде нейтрона. Чтобы отнести эти факты к одной закономерности, достаточно допустить существование электронов с меньшими числами силовых линий. Предположим, что такие электроны существуют только в атомах, хотя нет запрета на их существование и в свободном состоянии.

Если принять, что электрон может иметь числа линий  $n_s$ , подчиняющиеся зависимости

$$n_s = n_e/k_s^2, \text{ где } k_s = 1; 2; 3; 4 \dots,$$

то (17) с учетом (20) может быть приведена к известному выражению для частоты электрона в произвольном водородоподобном ионе на произвольном возбужденном уровне  $k$

$$\begin{aligned} \nu(Z, k_s, k) &= Z^2 R(n_{k+}/n_e) = Z^2 R \frac{1}{k_s^2} n_{k+}/n_s = \\ &= Z^2 R \frac{1}{k_s^2} (1 - n_k/n_s) = \\ &= Z^2 R \frac{1}{k_s^2} (1 - k_s^2 n_k/n_e) = \\ &= Z^2 R \frac{1}{k_s^2} (1 - k_s^2/k^2) = Z^2 R (1/k_s^2 - 1/k^2), \end{aligned}$$

где  $k \geq k_s$ .

Результат позволяет считать, что серии Бальмера, Пашена, Брэггетта, Пфунда создаются атомами водорода, имеющими электроны с неполными числами силовых линий (неполные электроны). Из (18) радиусы основных уровней неполных электронов в атоме водорода

$$r_s = r_1(R/\nu_s) = r_1 k_s^2 = 4r_1; 9r_1; 16r_1; 25r_1 \dots$$

Соответственно, отношения поперечных сечений атомов водорода с различными неполными электронами к сечению атомов с полными электронами равны

$$S_s/S_1 = r_s^2/r_1^2 = k_s^4 = 16; 81; 256; 625.$$

Вывод о существовании атомов водорода с различными поперечными сечениями может быть сопоставлен с экспериментально наблюдаемым различием сечений взаимодействия орто- и параводорода.

Представление об электронах с разными числами силовых линий (13) позволяет объяснить причину различий энергий электронов при распаде нейтрона. При этом отпадает необходимость в постулировании участия в распаде гипотетической третьей частицы – антинейтрино. Согласно схеме устойчивые энергетические уровни электронов в нейтроне должны образовывать дискретный спектр. Соответственно, должен формироваться дискретный спектр энергий электронов распада. Существование дискретного спектра предстоит подтвердить. В настоящее время спектр энергий электронов при распаде нейтрона считается непрерывным.

#### Сплошной спектр в атоме

Вытекающее из построений расположение энергетических уровней в атоме дает возможность по-новому интерпретировать природу сплошного спектра частот, примыкающего к максимальной излучающей частоте атома водорода со стороны более высоких значений. Согласно схеме сплошной спектр — это область наложения многих дискретных частот с большими значениями  $k$ . Эти частоты принадлежат перекрывающимся метастабильным уровням, тесно расположенным вблизи основного неизлучающего уровня со стороны меньших частот.

#### Энергия излучения при атомных переходах

Если в атоме водорода электрон стартует с радиуса с потенциалом  $U_{k1}$  и переходит на более низкий уровень с потенциалом  $U_{k2}$ , то начальная кинетическая энергия колебаний  $W_{k20}$  на уровне 2 равна разности потенциальных энергий двух уровней. Кинетическая энергия полностью излучается, поэтому она равна энергии излучения  $W_{2i}$ . С учетом (6), (11) и (17) зависимость излученной энергии на уровне 2 от характеристик уровней 1 и 2 выражается равенством

$$\begin{aligned}
 W_{2i} = W_{k2o} &= e(U_{k1} - U_{k2}) = -eU_1 \left( \frac{r_1}{r_{k1}} - \frac{r_1}{r_{k2}} \right) = \\
 &= -eU_1 \left( \frac{v_{k1}}{v_1} - \frac{v_{k2}}{v_1} \right) = h(v_{k2} - v_{k1}). \quad (21)
 \end{aligned}$$

Начальная энергия колебаний электрона  $W_{k2o}$  связана с угловой  $\omega_{k2}$  и циклической  $\nu_{k2}$  частотами, а также с начальной амплитудой колебаний  $A_{k2o}$  на уровне 2 классическим выражением

$$W_{k2o} = 1/2 m_e \omega_{k2}^2 A_{k2o}^2 = 2\pi^2 m_e \nu_{k2}^2 A_{k2o}^2,$$

откуда с учетом (21) и первого равенства из (10) амплитуда колебаний будет

$$A_{k2o} = r_1 R^{1/2} \nu_{k2}^{-1} (v_{k2} - v_{k1})^{1/2}. \quad (22)$$

Интенсивность излучения на уровне 2 определяется скоростью поступления электронов на уровень и кинетической энергией, которую приобретают электроны при переходах. Интенсивность излучения на уровне 2 от времени определяется как

$$I_2(t) = \frac{dW_{k2}}{dt} = \frac{dW_{k2o}}{dt} \exp\left(-\frac{n}{n_e} \frac{t}{T_2}\right), \quad (23)$$

где  $T_2$  — характерное время потери энергии на излучение при колебании электрона со всеми свободными силовыми линиями на уровне 2.

При описании переходов во внешних оболочках атомов с большим  $Z$  должна учитываться компенсация заряда ядра внутренними оболочками. В этом случае в (17) вместо  $R$  должно фигурировать некоторое эффективное значение частоты.

#### Электродинамическая схема работы лазера

Согласно квантовой механике когерентное излучение при переходах многих электронов может возникать только при постоянстве разности энергий уровней старта и финиша электрона. Ввиду этого при построении схемы работы лазера в рамках квантовых представлений приходится считать, что после возбуждения электронов на основном уровне  $A$  с потенциальной энергией  $W_A$  (рис. 2,  $a$ ) и создания инверсной заселенности на различных уровнях  $B$  возврат электронов на основной уровень происходит через некоторый единый промежуточный метастабильный уровень  $C$  с потенциальной энергией  $W_C$ , на который электроны переходят без излучения. Предполагается, что когерентное излучение происходит только при переходе электронов с этого уровня на основной, и частота излучения должна определяться квантовым условием

$$\nu = h^{-1}(W_C - W_A).$$

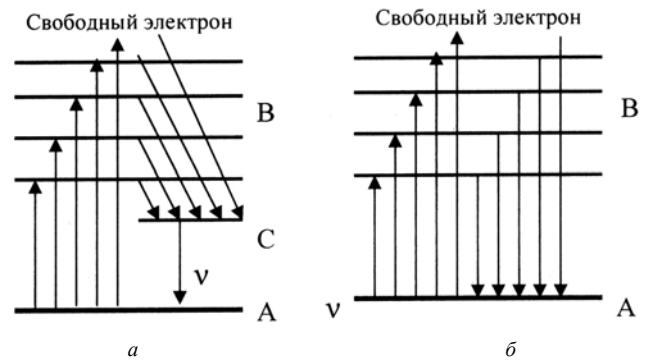


Рис. 2. Схемы переходов электронов в генераторе когерентного излучения:  $a$  — в квантовой теории;  $b$  — в электродинамической модели

В квантовой механике уровень  $C$  необходим для объяснения монохроматичности излучения. Эта схема работы лазера известна как трехуровневая.

Электродинамическое заключение о тождестве частот электромагнитного излучения и частот периодических движений электронов в атомах приводит к иному представлению о схеме работы лазера. Согласно ему инверсная заселенность возбужденных уровней создается, как и в квантово-механическом представлении, возбуждением электронов некоторого стабильного уровня  $A$  (см. рис. 2,  $b$ ). При возбуждении часть силовых линий электрона освобождается от связи с ядром и под действием возникающей разности потенциалов электрон переходит на уровень с большим радиусом. В зависимости от числа освобожденных линий электроны переходят на различные метастабильные уровни  $B$  или становятся свободными (среда ионизируется). По завершении переходов возникают излучения на частотах уровней  $B$ .

После потери кинетической энергии через излучение электроны вновь замыкают на ядро свои свободные силовые линии и возвращаются на уровень  $A$ . Колебания электронов на одной частоте и их синхронизация происходят на уровне  $A$  независимо от того, с каких энергетических уровней они пришли. От разности потенциальных энергий уровней  $B$  и  $A$  зависят начальная амплитуда колебания на уровне  $A$  (22), излученная энергия (21) и скорость ослабления энергии и амплитуды колебаний (23).

Как видно, электродинамическая схема является двухуровневой и не нуждается в постулате о существовании безызлучательного перехода, который выглядит искусственным даже в квантовой теории.

#### Выводы

Таким образом, рассмотрение атомных процессов на основе электродинамики приводит к результатам, соответствующим реальности. Из построенной модели атома следует, что квантовые эффекты являются следствием конечного числа силовых линий электрона, а не специфичности законов микромира, как это утверждается в квантово-механической теории.

При выражении постоянной Планка через константы электродинамики квантовая механика теряет свою обособленность и становится разделом электродинамики. Это означает, что атомная физика в дальнейшем должна развиваться по законам электродинамики на основе принципа детерминизма.

Выявленная взаимосвязь констант электродинамики, квантовой механики и атома водорода позволяет производить качественную и количественную проверку уравнений, положений, соотношений и построенных на них физических теорий на соответствие с реальностью. В частности, открывается возможность проверки и электродинамической интерпретации всех положений и уравнений квантовой механики.

Следствие модели о двухуровневой схеме работы лазера может иметь практическое значение.

1. *Похмельных Л. А.* Выражение постоянных квантовой механики через константы электродинамики и неклассическая модель атома водорода// Прикладная физика. 2005. № 1. С. 21-30.

2. *Шпольский Э. В.* Атомная физика Т. 1. — М.: Госиздат. физматлит, 1963. С. 294.

3. *Похмельных Л. А.* Аналитическое выражение для расчета ионизационных потенциалов элементов периодической системы// Прикладная физика. 2002. № 5. С. 24.

4. *Похмельных Л. А., Парфенова Ю. Л.* Ядерные силы как проявление электростатического взаимодействия нуклонов// Там же. 2002. № 4. С. 24—37.

5. Таблицы физических величин/Под ред. И. К. Кикоина. — М.: Атомиздат, 1976. — 1006 с.

6. Там же. С. 419, 654, 679.

7. *Яворский Б. М., Детлаф А. А.* Справочник по физике. — М.: Наука. 1996. — 451 с.

8. *Похмельных Л. А.* Магнетизм как проявление динамической компоненты центрального взаимодействия зарядов// Прикладная физика. 2004. № 2. С. 11—18.

Л и т е р а т у р а

Статья поступила в редакцию 10 марта 2006 г.

## Variants of expression of Planck invariable through electrodynamic constants and the model of atom with oscillating electron

*L. A. Pokhmelnikh*  
ELAT Company, Mexico City, Mexico

*Relations between electrodynamic, quantum mechanical and atomic constants are deduced. The relations are used for more precise values definition of ionization potential and electron equilibrium radius in hydrogen atom. A variant of oscillating electron is developed in the electrodynamic model of the atom offered before. The model leads to the conclusions that: atomic irradiation frequencies are identical to those of the radial electron oscillations; electron levels with higher frequencies are situated nearer to ground level; continuous irradiation spectrum is a superposition of multiple discrete series frequencies adjoining to the ground frequency; laser works using the two-levels scheme.*