

УДК 531/534

О СВЕТОНЕСУЩЕЙ СРЕДЕ

Дегтярева Е.Р., Юшкевич Р.С., Куликова И.Ю.

В статье рассматривается энергетический подтекст взаимоотношений протона и электрона, решается вопрос, откуда берётся энергия фотона.

Ранее мы ввели понятие светонесущей среды и использовали приписанные ей три свойства.

1. Светонесущая среда, как и свет, в пространстве распространяется неограниченно далеко.

2. Она связана с атомом – излучателем и перемещается вместе с ним.

3. Светонесущая среда в направлении распространения света не взаимодействует с веществом (по крайней мере, прозрачным).

Известно, что в состав атомов водорода входят протон и электрон, каждый из них имеет электрическое поле, которое удовлетворяет первому свойству светонесущей среды, т.е. распространяется неограниченно далеко. Выделим в электрическом поле протона произвольную точку А (рис. 1).

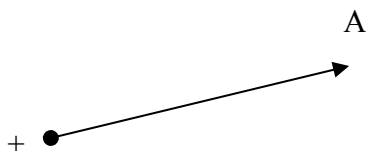


Рис. 1

Поле в этой точке характеризуется напряженностью E и потенциалом ϕ . При любых перемещениях уединенного протона точка А будет совершать такие же перемещения, при этом напряженность и потенциал поля в этой точке будут оставаться неизменными. Все, что сказано о точке А, будет относиться и ко всем остальным точкам поля протона. Можно сделать вывод о том, что электрическое поле протона перемещается вместе с ним. Все, что сказано об электрическом поле протона, полностью можно отнести и к полю электро-

на, т.е. поле электрона перемещается вместе с ним. Получается, что поля протона и электрона удовлетворяют второму свойству светонесущей среды, которое мы использовали в своих рассуждениях.

Как известно атом водорода состоит из протона и электрона, причем, электрон может располагаться только на определенных «разрешенных» энергетических уровнях. Переход электрона с одного уровня на другой происходит скачками с излучением определенных квантов энергии. При изучении графика протон – электрон (рис. 2) видно, что линии серий излучения атома водорода уходят в бесконечность, значит, и энергетические уровни уходят в бесконечность.

Позитрон имеет такое же электрическое поле, как и протон. В то же время позитрон и его поле имеют такие же характеристики, как и электрон, и его поле. Отличием является лишь противоположность знаков этих характеристик, равными являются массы, а, значит, и содержащаяся в них энергия.

При соединении позитрона и электрона происходит их аннигиляция, т.е. одновременное исчезновение частиц и их полей. Рождаются частицы, имеющие электрический заряд, также парами с противоположными знаками, одновременно рождаются и их поля.

Получается, что электрические поля движутся вместе с частицами, рождаются и исчезают вместе с ними. Не проще ли считать, что позитрон и электрон вместе с их полями составляют каждый в отдельности со своим полем единое целое, а позитроном и электроном мы называем лишь центральную часть этого целого, где наибольшая концентрация энергии.

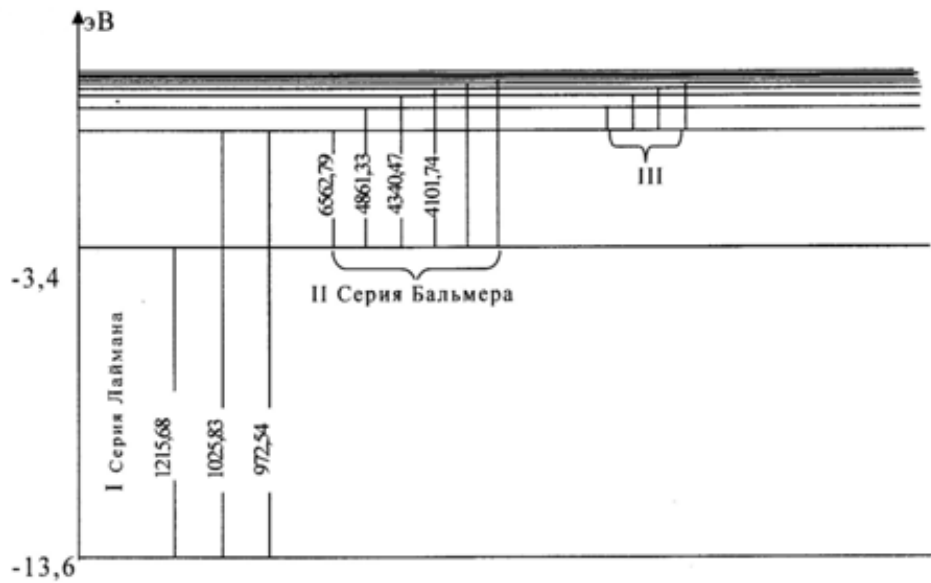


Рис. 2

Частицы, имеющие электрический заряд, или притягиваются или отталкиваются, т.е. на них действует сила. Будем исходить из того, что силы взаимодействия между частицами возникают в том случае, когда в двух соседних положениях частицы в сумме обладают разной по величине энергией. Возникающие при этом силы действуют на обе частицы и направлены в ту сторону, где энергия взаимодействия меньше. Электрон и протон притягиваются друг к другу потому, что при

сближении их суммарная энергия уменьшается.

Наличие энергии у протона и его поля означает, что протон и его поле представляют систему, содержащую движение. Наличие энергетических уровней указывает на наличие слоев движения. Вместе с тем протон, позитрон и электрон частицы устойчивые, в них не происходит безвозвратный перенос энергии. В механике мы знаем такую систему – это стоячая волна. По аналогии назовем позитрон и электрон стоячими волнами.

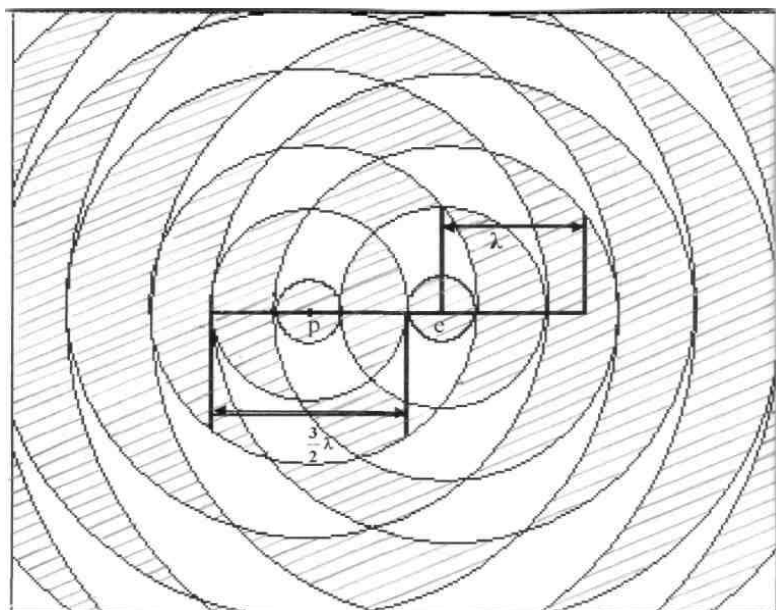


Рис. 3

На рис. 3 схематический разрез атома водорода плоскостью, проходящей через центры протона и электрона. p и e – центральные части соответственно протона и электрона. Светлые и темные участки – зоны усиления и гашения колебаний.

Возможность аннигиляции этих частиц указывает на то, что во всех соответственных точках этих частиц и их полей при наложении движение, значит, и энергия гасятся. Напрашивается вывод: в соответствующих точках позитрона и электрона (если это стоячие волны) движения происходят в противоположных фазах, т.е. смещены на полпериода.

Из того, что любой электрон одинаково взаимодействует с любым позитроном, следует, что колебания во всех электронах происходят синхронно, т.е. в одинаковых фазах. Это же можно сказать и о позитронах с той лишь разницей, что колебания в них смещены по отношению к электрону на полпериода.

Протон имеет такое же электрическое поле, как и позитрон, но массу во много раз большую. Это означает, что в протоне помимо колебаний, обеспечивающих электрическое взаимодействие, есть еще какой – то вид движения, который обуславливает его большую массу и, значит, большую энергию, содержащуюся в нем. Это движение вполне согласуется с колебаниями, обеспечивающими электрическое взаимодействие, поэтому протон является устойчивым образованием.

Рассмотрим расположение электрона в электрическом поле протона. Размеры атома $\sim 10^{-10}$ м. В опытах Девисона и Джермера по наблюдению дифракции электронов на кристалле никеля было получено значение длины волны электрона $\lambda = 1,67 \cdot 10^{-10}$ м. Получается, что размеры атома и длина волны электрона одного порядка. Поместим электрон от центра протона на расстояние в пределах этих размеров, но так, чтобы энергия системы протон – электрон была наименьшей по сравнению с ближайшей окрестностью. Такое положение достигается, если центральную часть электрона поместить в шаровой слой поля протона, где колебания происходят в противоположной фазе по отношению к центральной части электрона (см. рис. 3).

В этом случае все шаровые слои, расположенные вокруг электрона и протона на прямой, проходящей через центры протона и электрона, будут также совпадать в противоположных фазах и на значительном расстоянии от центральных частей протона и электрона колебания будут гаситься и не будут взаимодействовать с веществом. По этому же направлению распространяется и свет, излучаемый атомом.

Колебания, образующие волны протона и электрона, обеспечивающие их электрическое взаимодействие и совмещенные в атоме, обладают тремя свойствами, которые мы ранее приписали светонесущей среде.

Колебания в волнах протона и электрона отличаются только фазами, поэтому они являются когерентными и в составе атома должны интерферировать. Результатом интерференции будут участки усиления и ослабления колебаний, которые в пространстве в виде колец будут располагаться по поверхности гиперболоидов вращения и вдоль оси протон – электрон где они будут гаситься, если электрон находится в слое с противоположной фазой колебаний, и усиливаться, если фазы колебаний в слое и электроне совпадают. Поле, которое образуется в результате интерференции протона и электрона, назовем полем нейтрального атома, оно же является светонесущей средой.

Если электрон удалится от протона на целое число волн, то он также окажется в слое с колебаниями в противоположной фазе. Это положение будет устойчивым по отношению к изменению расстояния относительно протона, т.к. для перехода на другое расстояние ему надо преодолеть слой, где колебания происходят в одинаковой фазе, при этом должна будет увеличиться амплитуда колебаний, что ведет к увеличению энергии. Для такого перехода нужна дополнительная энергия от внешнего возбудителя. Этим объясняется наличие энергетических уровней в атоме и скачкообразный переход электрона с одного уровня на другой и излучение энергии в виде квантов.

Рассмотрим случай, когда электрон из одного слоя переходит в другой соседний слой ближе к протону так, чтобы по-

пасть в слой с противоположной фазой колебаний. В этом случае амплитуды колебаний сложатся, и вместо гашения колебаний будет увеличение амплитуды колебаний, которое со скоростью $c=3 \cdot 10^8$ м/с будет перемещаться вдоль прямой протон

– электрон. Начало движения всплеска амплитуды произойдет от центральной части электрона, который входит в состав атома. Этот всплеск амплитуды распространяющийся вдоль прямой мы называем квантом света или фотоном.

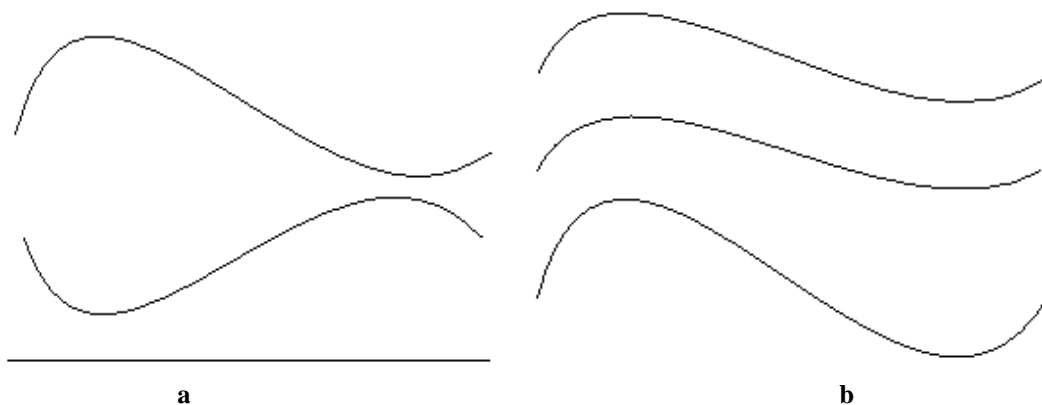


Рис. 4

На рис. 4а показаны графики колебаний отдельно в волнах электрона и протона для случая, когда атом не излучает. Здесь же ниже показан график колебаний после сложения.

На рис. 4б показаны графики тех же колебаний для случая, когда фазы колебаний совпадают. Здесь же ниже – график колебаний после сложения. Получается волна с увеличенной амплитудой, она же и есть квант света.

Пусть электрон со скоростью v переходит из одного слоя в другой. Все изменения амплитуды будут передаваться вдоль оси протон – электрон со скоростью c . За время прохождения длины волны протона λ , равное $\frac{\lambda_{\text{э}}}{v}$ изменения амплитуды распространяется на расстояние $\lambda_{\text{ф}} = \frac{\lambda_{\text{э}}}{v} \cdot c$.

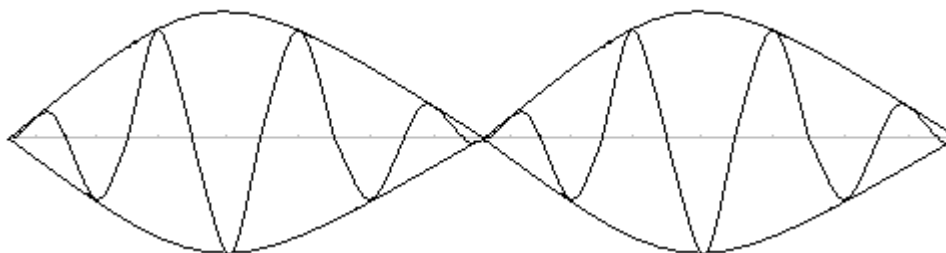


Рис. 5

Под электроном в данном случае понимается его центральная часть диаметром равным $\frac{\lambda_{\text{э}}}{2}$. Длина волны электрона $\lambda_{\text{э}}$ в $\frac{c}{v}$ раз меньше длины волны фотона. Можно считать длиной волны фотона длину огибающей большого количества волн,

полученных в результате сложения колебаний в волнах протона и электрона

Мы получили, что длина волны фотона обратно пропорциональна скорости перемещения электрона из одного слоя в другой. Энергия фотона складывается из энергий волн протона и электрона, огибающей которых является волна фотона. Энергия фотона $U_{\text{ф}}$ пропорциональна числу волн протона и электрона, входящих в фотон, а

это число пропорционально длине волны фотона, которая обратно пропорциональна скорости перехода электрона $v_э$. Получаем цепочку пропорциональных величин

$$U_ф \sim n \sim \lambda_ф \sim \frac{1}{v_э}$$

С другой стороны энергия фотона складывается из энергии части слоев протона и электрона, где волны при переходе электрона совпадают по фазе. При этом эта часть энергии сходится к направлению распространения света. Энергия фотона в этом случае, как энергия движения, пропорциональна квадрату скорости схождения энергии слоев $v_с$, а она пропорциональна скорости перехода электрона $v_э$.

Если энергия фотона пропорциональна $\frac{1}{v_э}$ и $v_э^2$, то она пропорциональна

их произведению $\frac{1}{v_э} \cdot v_э^2 = v_э$. Получаем:

энергия фотона $U_ф$ пропорциональна $v_э$. Из предыдущей цепочки пропорциональности

$v_э \sim \frac{1}{\lambda_ф}$, длина волны обратно пропорцио-

нальна частоте волны фотона $\frac{1}{\lambda_ф} \sim v_ф$. Мо-

жем записать равенство $U_ф = h v_ф$, где h коэффициент пропорциональности – постоянная Планка.

Волны протона – электрона невозможно представить поперечными, скорее всего они являются продольными, представляющими собой сгущения и разрежения среды, колебания которой и представляют эти волны. При образовании фотона смещение энергии в слоях протона и электрона происходят перпендикулярно направлению распространения света. Суммируя эти движения можно сделать вывод о том, что волна фотона есть продольно – поперечная, т.е. несет в себе и продольные колебания протона и электрона и поперечные смещения энергии в слоях. В этом случае поляризацию света обеспечивает фронт волны, диаметр которого будет тем меньше, чем с большей скоростью происходит переход электрона из одного слоя в

другой, т.е. чем меньше длина волны фотона.

В дальнейшем будем предполагать, что соседние слои обладают одинаковой по величине и противоположной по знаку энергией. Шаровые слои поля протона, в которых колебания происходят в противоположной фазе по отношению к колебаниям в центральной части электрона, будем называть разрешенными и нумеровать их, начиная от центральной части протона.

Допустим, каждый разрешенный слой имеет энергию U_0 . Разделив ее на объем слоя, найдем концентрацию энергии в этом слое, а затем, перемножив ее на объем центральной части электрона, получим энергию, с которой поле протона взаимодействует с центральной частью электрона. Обозначим длину волны протона – электрона через λ .

Плотность энергии в слое протона вдоль радиуса разная, поэтому, чтобы получить среднюю плотность энергии, шаровой слой распрямим в диск с площадью, равной площади поверхности сферы с радиусом, равным среднему радиусу шарового слоя. Для n -го слоя средний радиус будет $n\lambda$, толщина слоя $\frac{\lambda}{2}$, тогда объем этого диска будет $4\pi n^2 \lambda^2 \cdot \frac{\lambda}{2} = 2\pi n^2 \lambda^3$. Кон-

центрация энергии в слое будет $\frac{U_0}{2\pi n^2 \lambda^3}$, а

величина энергии, приходящаяся на объем центральной части электрона, будет равна

$$U_0 \cdot \frac{4}{3} \pi \left(\frac{\lambda}{4}\right)^3 = \frac{U_0}{96n^2}$$

В виду того, что колебания в слое протона противоположны по фазе колебаниям электрона, произойдет гашение этой энергии таким же количеством энергии электрона. Общая убыль энергии будет $\frac{U_0}{48n^2}$. Эту энергию можно

назвать энергией связи электрона и протона в слое под номером n . В слое под номером m энергия связи будет $\frac{U_0}{48m^2}$. Если

$m > n$, то при переходе электрона из слоя

под номером m в слой под номером n вы- делится в виде фотона энергия равная

$$U_{\phi} = \frac{U_0}{48n^2} - \frac{U_0}{48m^2} = \frac{U_0}{48} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

При $n=1$, а $m=2;3;4;\dots$ получаем серию Лаймана.

При $n=2$, а $m=3;4;5;\dots$ получаем серию Бальмера.

Таким же образом получают остальные серии.

Рассмотренный способ объяснения образования серий излучения атома водорода дает возможность понять, откуда берется энергия фотона.

Используем теперь другой метод объяснения природы серий излучения атома водорода.

Известно, что на каждом энергетическом уровне или, что одно и то же, в каждом слое поля протона электрон обладает энергией, а это означает, что каждый энергетический уровень имеет свой потенциал ϕ .

При переходе электрона с зарядом e со второго уровня на первый будет совершаться работа $A_{2,1}=e(\phi_1-\phi_2)$. При переходе с 3-го на 2-й уровень работа будет $A_{3,2}=e(\phi_2-\phi_3)$, с 4-го на 3-й – $A_{3,4}=e(\phi_3-\phi_4)$, с n -го на $(n-1)$ -й $A_{n,n-1}=e(\phi_{n-1}-\phi_n)$. При переходе с n -го на 1-й уровень получим после сложения

$$A_{2,1} + A_{3,2} + A_{4,3} + \dots + A_{n,n-1} = e(\phi_1 - \phi_2) + e(\phi_2 - \phi_3) + e(\phi_3 - \phi_4) + \dots + e(\phi_{n-1} - \phi_n) = e(\phi_1 - \phi_n).$$

Аналогично для перехода с m -го уровня на 1-й работа будет $A_{m,1}=e(\phi_1-\phi_m)$. Отложим на числовой оси эти работы для $m>n$.

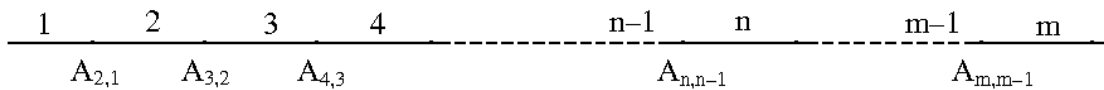


Рис. 6

При переходе электрона из m -го слоя в n -й будет совершена работа

$$A_{m,n} = A_{m,1} - A_{n,1} = e(\phi_1 - \phi_m) - e(\phi_1 - \phi_n) = e(\phi_n - \phi_m)$$

Совершенная работа означает превращение энергии. В данном случае потенциальная энергия взаимодействия электрона с полем протона превращается в энергию излучаемого кванта.

Для получения серий излучения света достаточно подставить значения потенциалов. Но, если пользоваться признанной формулой $\phi = \frac{kq}{r}$, то серий излучения, проверенных практикой не получится. Кроме того, данная формула для вычисления потенциала логически не увязывается с формулой напряженности электрическо-

го поля $E = \frac{kq}{r^2}$. Обычно потенциальная энергия неразрывно связана с действующей силой и, видимо, с изменением расстояния r потенциал и напряженность должны изменяться по одному и тому же закону. Из этих формул видно, что с увеличением расстояния r напряженность убывает быстрее, чем потенциал. Кроме того, формула потенциала не отражает того, что энергия электрона в поле протона принимает дискретные значения.

Попытаемся устранить эти недостатки. Напомним, что в однородном электрическом поле работа по перемещению заряда определяется по формуле $A=qEl$, где q –

величина перемещаемого заряда, E – напряженность поля, l – расстояние между началом и концом перемещения вдоль линии напряженности. Для случая, когда перемещается электрон с зарядом e на расстояние λ , равное длине волны протона – электрона или, что то же самое, на рас-

стояние между соседними энергетическими уровнями атома работа будет $A=e\lambda E$.

Изобразим график зависимости произведения $e\lambda$ от E (рис. 7). Видно, на графике площадь прямоугольника $O(e\lambda)BE$ численно равна работе поля.

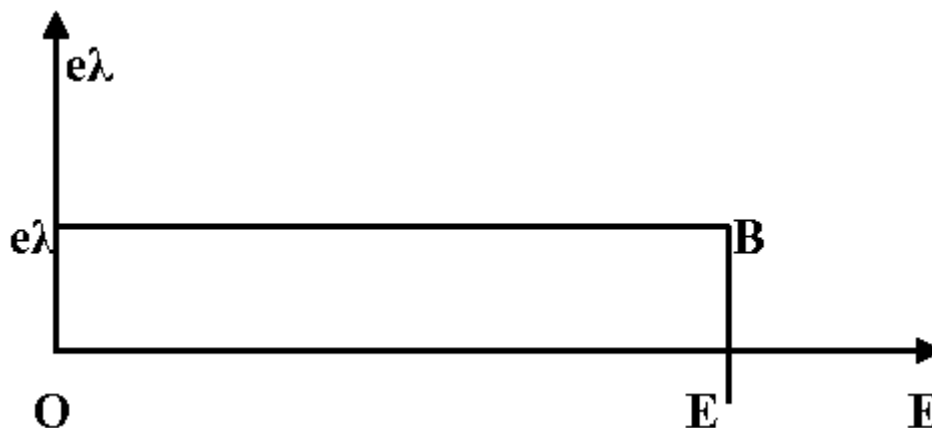


Рис. 7.

При переходе электрона со второго уровня на первый произведение $e\lambda$ останется неизменным, а изменится только напряженность от E_2 до E_1 . В этом случае работа равна

$$A_{2,1} = \int_{E_2}^{E_1} e\lambda dE = e\lambda E_1 - e\lambda E_2$$

Аналогично получаем:

$$\begin{aligned} A_{3,2} &= e\lambda E_2 - e\lambda E_3 \\ A_{4,3} &= e\lambda E_3 - e\lambda E_4 \\ &\dots\dots\dots \\ A_{n,n-1} &= e\lambda E_{n-1} - e\lambda E_n \end{aligned}$$

Чтобы получить работу поля при переходе электрона с n -го уровня на первый, сложим полученные результаты и получим $A_{n,1} = e\lambda E_1 - e\lambda E_n$. Работа при пе-

реходе с m -го уровня на 1-й будет $A_{m,1} = e\lambda E_1 - e\lambda E_m$. При переходе с m -го уровня на n -й для $m > n$ будет совершена работа

$$A_{m,n} = A_{m,1} - A_{n,1} = e\lambda E_1 - e\lambda E_m - (e\lambda E_1 - e\lambda E_n) = e\lambda E_n - e\lambda E_m$$

Покажем эти работы на графике (рис. 8).

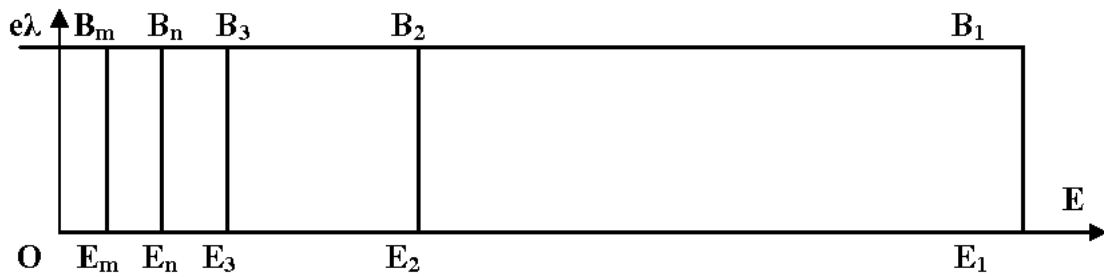


Рис. 8

Работа $A_{2,1}$ численно равна площади $E_2V_2V_1E_1$

$A_{3,2}$ — $E_3V_3V_2E_2$

$A_{n,1}$ — $E_nV_nV_1E_1$

$A_{m,n}$ — $E_mV_mV_nE_n$

В данном случае характер зависимости напряженности от расстояния от центра заряда, создающего поле, отражается значениями E , отложенными на оси абсцисс.

Учитывая соотношение между работой и изменением энергии, можно сделать вывод о том, что в выражении $A_{m,n} = e\lambda E_n -$

$e\lambda E_m$ в правой части есть разность энергий электрона в соответствующих уровнях. Порядковый номер уровня n означает и число длин волн λ от центра заряда, создающего поле, до n -го уровня. Можно записать, что энергия электрона в n -м слое будет:

$$U_n = e\lambda E_n = e\lambda \cdot \frac{ke}{(n\lambda)^2} = \frac{ke^2\lambda}{(n\lambda)^2} \left| \frac{H \cdot m^2 \cdot K\lambda^2 \cdot m}{K\lambda^2 \cdot m^2} = \text{Дж} \right|$$

Разделив полученное выражение на величину заряда электрона, получим потенциал n -го уровня

$$\varphi_n = \frac{ke\lambda}{(n\lambda)^2} = \frac{ke}{n^2\lambda} \left| \frac{H \cdot m^2 \cdot K\lambda}{K\lambda^2 \cdot m} = \frac{\text{Дж}}{K\lambda} = V \right|$$

Если $n\lambda = r$, то $\varphi = \frac{ke\lambda}{r^2} = E\lambda$

Напряженность пропорциональна величине заряда, создающего поле, а потенциал пропорционален напряженности, поэтому, если заряд q , создающий поле, содержит Z элементарных зарядов e , т.е. $q = Ze$, то потенциал будет $\varphi = \frac{kZe\lambda}{r^2} = \frac{kq\lambda}{r^2}$

Мы получили два варианта формулы потенциала. Обе они удовлетворяют ранее высказанным условиям.

Первую формулу $\varphi_n = \frac{ke}{n^2\lambda}$ удобнее использовать в том случае, когда можно подсчитать число энергетических уровней n , например, при получении серий излучения атома водорода. В формулу $A_{m,n} = e(\varphi_n - \varphi_m)$ подставим значения потенциалов и, учитывая, что работа есть мера превращения энергии, которая выделяется в виде фотона, получим:

$$A_{m,n} = h\nu_\phi = e \left(\frac{ke}{n^2\lambda} - \frac{ke}{m^2\lambda} \right) = \frac{ke^2}{\lambda} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

Для вычисления потенциала в любом энергетическом уровне, зная энергию фотона $h\nu_\phi = \frac{hc}{\lambda_\phi}$, вычислим значение λ .

Используем энергию фотона красного света водорода, который образуется при переходе электрона с 3-го уровня на 2-й, для которого $\lambda_\phi = 6562,79 \text{ \AA} = 6562,79 \cdot 10^{-10} \text{ м}$.

Получаем: $\frac{ke^2}{\lambda} \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{9} \right) = \frac{hc}{\lambda_\phi}$, откуда

$$\lambda = \frac{ke^2\lambda_\phi \cdot 5}{hc \cdot 36}$$

Подставляя значения величин в это выражение, имеем:

$$\lambda = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 1,6^2 \cdot 10^{-38} \cdot 5 \cdot 6562,79 \cdot 10^{-10}}{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 36} = 1,06 \cdot 10^{-10} \text{ м} = 1,06 \text{ \AA}$$

При наблюдении дифракции электронов было получено значение длины волны электрона $\lambda_e = 1,67 \text{ \AA}$. Если считать, что дифракцию дает центральная часть электрона диаметром $\frac{\lambda}{2}$ и соседний слой толщиной $\frac{\lambda}{2}$, где колебания происходят в противоположной фазе относительно центральной части, тогда в опыте обнаружит-

ся длина волны электрона $\lambda_e = \frac{3}{2}\lambda$, т.е.

$\lambda_e = \frac{3}{2} \cdot 1,06 \text{ \AA} = 1,59 \text{ \AA}$. Это на $0,08 \text{ \AA}$ отличается от результатов эксперимента. Возможно, здесь играет роль скорость электрона при наблюдении дифракции.

Зная длину волны электрона $\lambda = 1,06 \text{ \AA}$, вычислим энергию электрона на первом уровне, берем $n=1$; $m \rightarrow \infty$

$$U_1 = \frac{ke^2}{\lambda} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 1,6 \cdot 10^{19} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{1,06 \cdot 10^{-10}} = 13,6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 13,6 \text{ эВ}$$

Заряд электрона отрицательный, поэтому его энергия будет отрицательной. Подставим в выражение $\frac{ke^2}{\lambda} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$ значение энергии на первом уровне и номера уровней

- $n=1; m=2; 3; 4; \dots$
- $n=2; m=3; 4; 5; \dots$
- $n=3; m=4; 5; 6; \dots$

и получим серии энергий, излучаемых атомом водорода. Разделив эти энергии на h , получим серии излучаемых частот.

Возвратимся к закону сохранения импульса при поглощении фотона приемником света. Учтем, что образующийся при смене электроном энергетических уровней фотон является результатом перераспределения энергии внутри атома. Фотон является частью атома. Если он имеет

импульс $\frac{h\nu_0}{c}$, то оставшая часть атома

будет иметь импульс $-\frac{h\nu_0}{c}$. Суммарный импульс атома останется равным 0.

Если импульс фотона $\frac{h\nu_0}{c}$, направление которого совпадает с направлением света, будет поглощен приемником, то

приемник получит импульс $\frac{h\nu_0}{c}$, а у излучающего атома останется импульс $-\frac{h\nu_0}{c}$, т.е. произойдет отдача, как при выстреле из ружья. Мы рассмотрели случай, когда приемник покоится относительно излучателя. Если же приемник массой m движется относительно излучателя по направлению света со скоростью v , то для

него фотон будет иметь частоту $\nu = \nu_0 \left(1 - \frac{v}{c}\right)$, и он может принять импульс $\frac{h\nu}{c} = \frac{h\nu_0}{c} \left(1 - \frac{v}{c}\right)$ при этом его импульс будет $m\nu + \frac{h\nu_0}{c} \left(1 - \frac{v}{c}\right)$. У атома останется импульс

$$-\frac{h\nu_0}{c} + \frac{h\nu_0}{c} - \frac{h\nu_0}{c} \left(1 - \frac{v}{c}\right) = -\frac{h\nu_0}{c} \left(1 - \frac{v}{c}\right)$$

Сумма импульсов излучающего атома и приемника останется равной

$$-\frac{h\nu_0}{c} \left(1 - \frac{v}{c}\right) + m\nu + \frac{h\nu_0}{c} \left(1 - \frac{v}{c}\right) = m\nu$$

Вывод: при поглощении фотона покоящимся или движущимся приемником закон сохранения импульса не нарушается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зисман Г.А., Тодес О.М. Курс общей физики. Т.3, 1972 г. «Наука»
2. Воронцов-Вельяминов Б.А. Астрономия 10, 1983 г. «Просвещение»

LIGHT CARRYING AMBIENCE

Degtyareva E.R., Yushkevich R.S., Kulikova I.Yu.

In this article there is an underlying theme of energy of the proton and the electron. And there is an answer to the question where the energy of the photon is.