

О ПРОИСХОЖДЕНИИ СПЕКТРАЛЬНЫХ СЕРИЙ

Д.т.н., проф. Эткин В.А.

Показано, что формулы для расчета спектральных серий Лаймана, Бальмера и Пашена могут быть получены в рамках классической физики из условия равенства частоты излучения числу актов торможения электрона при его движении относительно ядра.

Введение. В одной из наших предыдущих статей [1] было высказано предположение, что электромагнитное излучение с частотой ω представляет собой последовательность ω солитонов (уединенных волн), каждый из которых испускается в единичном акте торможения электрона в его движении относительно ядра атома. При этом частота излучения солитонов равняется произведению числа оборотов электрона на число актов его торможения на каждом витке траектории электрона. Исходя из этого предположения, оказалось возможным без всяких дополнительных допущений вывести волновое уравнение типа уравнения Шредингера [1], дать новое объяснение фотоэффекта [2] и получить выражения, позволяющие рассчитать спектральные серии Лаймана, Бальмера и Пашена [3]. Представляет интерес показать, что сделанные в этих статьях выводы остаются справедливыми и в более общем случае движения электронов по произвольной незамкнутой траектории.

Спектральные серии и характер электронных орбит. В отличие от модели атома Н.Борна, будем рассматривать всю совокупность атомов вещества как неравновесную термодинамическую систему. В этой системе происходят процессы преобразования кинетической энергии электронов в потенциальную, сопровождающиеся энергообменом атомов между собой и с окружающей средой (электромагнитным полем). Такое преобразование носит периодический характер и связано с преодолением внешних для каждого атома сил, что и обуславливает излучение и поглощение ими электромагнитной энергии.

Известно, что при движении частицы (тела) в поле центральных сил её (его) энергия E и момент количества движения L остаются неизменными [4]. Следовательно, электрон, движущийся с переменной скоростью относительно ядра атома по одной из таких орбит под действием центральных сил, в принципе не может излучать энергию. Противоположная точка зрения, из какой бы теории она ни следовала, противоречила бы закону сохранения энергии. Это особенно очевидно для круговых орбит, на которых ни кинетическая E , ни потенциальная энергия U электрона не изменяются. Отсюда следует, что излучение электронов (точнее, атомов, которым и принадлежит, строго говоря, упомянутая энергия) является следствием торможения электронов *нецентральными (сторонними) силами*, исходящими из окружающих атомы силовых полей, а также от внешнего поля излучения (фотонного газа). Эти силы образуют совокупное поле, осциллирующее по законам резонанса с определенными частотами ω соответственно изменяющемуся положению, движению и ориентации соседних атомов. Результирующее поле этих сил и предопределяет осцилляцию энергии и траекторий отдельных электронов. Когда указанная сила направлена навстречу их движению, она вызывает торможение электронов, в противном случае – их ускорение. Такой единичный акт торможения или ускорения электрона сопровождается одноразовым возмущением этого поля, распространяющимся в нем подобно солитону (уединенной волне). Последовательность ω солитонов и образует то, что мы называем непрерывной волной с длиной λ .

Совершенно естественно, что по законам резонанса частота осцилляций рассматриваемого поля синхронизирована с движением электронов каждого из атомов рассматриваемой системы. Именно это обстоятельство и предопределяет характер их

траектории. Если бы электрон двигался под действием только центральной силы $F_{ц} = -Ze^2/r_o^2$ (где e – заряд электрона, Z – атомный номер элемента), зависящей только от расстояния r_o между электроном и ядром, число n актов ускорения или торможения электрона зависело бы только от характера траектории. Эта траектория, как известно, может быть незамкнутой или представлять собой одно из конических сечений (круг, эллипс, параболу, гиперболу) [4]. В частности, если траектория является гиперболой или параболой, она имеет один участок торможения ($n = 1$). Если это эллипс, $n = 2$. В более сложных случаях, когда орбита электрона охватывает два и более ядер, число участков торможения может быть еще большим ($n = 3, 4, 5$ и т.д.).

При наличии как центральных $F_{ц}$, так и нецентральных F_n сил радиус-вектор электрона r смещается относительно r_o соответственно действующей на него результирующей силе $F = -Ze^2/r^2$. Таким образом, сторонние силы $F_n = F - F_{ц}$ в данный момент времени определяются выражением:

$$F_n = Ze^2 (1/r_o^2 - 1/r^2). \quad (1)$$

Чтобы связать эту силу с траекторией электрона, рассмотрим интегральный импульс результирующей силы $\int F dt$, где τ – длительность полупериода, при котором $F \cdot r > 0$, т.е. сила направлена в сторону движения электрона, ускоряя его. Учитывая, что интегрирование начинается от поворотной точки, где $F \cdot r = 0$, найдем, что $\int F dt = F_c \tau = P$, где P – импульс, приобретенный электроном за один полупериод действия со средней силой F_c . Предположим теперь, что за время движения электрона в направлении действия силы F проходит m полупериодов длительностью τ , так что электрон успевает претерпеть не один, а m актов ускорения. Тогда, очевидно, приобретенный им радиальный импульс будет в m раз больше. Если при этом и длина L орбиты электрона увеличивается во столько же раз, то, заменяя реальную траекторию для простоты окружностью равной длины L с радиусом $r = L/2\pi$, найдем, что и этот радиус также возрастет в m раз. Это означает, что радиусы r и r_o двух орбит, на которых электрон испытывает соответственно m и n ускорений под действием силы F , будут соотноситься между собой как

$$r/r_o = m/n \quad (3)$$

Подставляя (3) в (1), имеем:

$$F_n = (Ze^2/r_o^2) (1 - n^2/m^2). \quad (4)$$

Согласно этому выражению, равенство числа m актов ускорения (торможения) электронов на какой-либо орбите их числу n на орбите, где действуют только центральные силы, свидетельствует об отсутствии сторонних (нецентральных) сил, что вполне естественно. В таком случае величина импульса нецентральных сил $P_n = F_n \tau_n$ определяется выражением

$$P_n = (Ze^2/r_o^2) (1 - n^2/m^2) \tau_n, \quad (5)$$

что непосредственно приводит к формуле для частоты колебаний поля нецентральных сил $\omega = 1/\tau_n$ в виде:

$$\omega = \omega_o (1 - n^2/m^2), \quad (6)$$

Здесь $\omega_o = Ze^2/r_o^2 P_n$ – некоторая постоянная для данного вещества величина, которая может быть найдена экспериментально.

Выражение (6) адекватно закономерности $\lambda = \lambda_o(m^2 - n^2)/m^2$, установленной Бальмером в 1885 г. по экспериментальным данным спектра водорода. Согласно ей и (6), частоты излучения дискретны и по мере увеличения m сходятся к

своему верхнему пределу ω_o , определяющему название серии: Лаймана ($n=1$), Бальмера ($n=2$), Пашена ($n=3$), Брэкэта ($n=4$), Пфунда ($n=5$) и т.д. Оба этих положения отлично согласуются с опытом (особенно для водорода и водородоподобных атомов ($n=2$) [5]).

Обсуждение результатов. Как видим, выражения для спектральных серий Лаймана, Бальмера, Пашена и т.д., считавшиеся “пробным камнем” квантовой теории, могут быть объяснены и с позиций классической физики. Преимущество предложенного подхода к изучению спектральных серий заключается в его физической ясности и наглядности. Это касается прежде всего физического смысла величин m и n , определяющих характер орбиты. В модели Н. Бора связь квантовых чисел с геометрией орбиты далеко не столь очевидна [5]. В квантовой же механике это понятие, как известно, отвергается вовсе.

Обращает на себя внимание подкупающая простота объяснения ряда наблюдаемых закономерностей. В частности, вполне естественно, что электроны, движущиеся по траекториям, более удаленным от атомного ядра, имеют и больший период обращения. Поэтому они успевают претерпеть за этот период большее число m актов торможения и ускорения электрона, и соответственно имеют более высокую частоту излучения. Это объясняет, почему с увеличением потенциальной энергии электрона частота излучения в любой спектральной серии повышается [6].

Далее, число актов ускорения (торможения) электрона не может быть дробным – отсюда и закон целых чисел, отраженный в соотношениях (6). В этом порядке идей наличие нескольких серий у атомов одного и того же вещества (в том числе у одноэлектронных атомов) объясняется различием характера «центральных» орбит у различных атомов этого вещества (т.е. траекторий, возникающих под действием центральных сил). Заметим, что такое объяснение было бы несостоятельным при рассмотрении изолированного одноэлектронного атома в концепции Н. Бора. Несколько худшие результаты для щелочных металлов (наличие у них главной, резкой, диффузионной и бергмановской серий) [6] в этом порядке идей могут быть объяснены неточным соблюдением соотношения (3) для сложных орбит.

Представление об электромагнитной волне как о последовательности солитонов устраняет ряд трудностей модели Бора. Наиболее принципиальная из них состоит в том, что в ней частота излучения ω зависит от уровня энергии как начальной, так и конечной орбиты, и, следовательно, остается неопределенной до тех пор, пока электрон не достигнет последней. В таком случае приходится признать, что электрон каким-то непостижимым образом заранее “знает” о своей будущей орбите [5]. Это явилось одной из причин, приведших к отрицанию в квантовой теории причинно-следственных отношений.

Другая трудность, которую обычно упускают из вида, обнаруживается при представлении кванта энергии $h\omega$ в виде:

$$h\omega = E_o (1 - n^2/m^2). \quad (8)$$

Из этого соотношения следует, что уже при $m=5$ и $n=1$ за один акт излучения электрон теряет 96% своей полной энергии E_o , а при $m \rightarrow \infty$ - всю энергию электрона! Это ставит под сомнение саму возможность сохранения атома в процессе излучения [3]. В противоположность этому, развиваемая здесь теория предполагает потерю энергии за один акт излучения солитона в ω раз меньшей, причем эта потеря может тут же восполниться на другом участке траектории электрона. Такое излучение устойчивости атома не угрожает. Соответственно этому изменяется и представление о “частице” света, которой в изложенном порядке идей является солитон.

Следующая трудность существующей квантовой состоит в том, что она порождает проблему дуализма фотона, не получившую до сих пор удовлетворительного разрешения [5]. Суть этой проблемы состоит в том, что свойства фотона с энергией $h\omega$ в одних случаях совпадают со свойствами частиц (фотоэффект, эффект Комптона), а в других – со свойствами волны (интерференция, дифракция, поляризация). Попытка примирить эти свойства путем представления о фотоне как о волновом пакете (т.е. как о локализованной в пространстве области, где амплитуды колебаний отличны от нуля) противоречит, как известно, опытам Боте [5]. Солитон же как локализованная в пространстве (уединенная) и структурно устойчивая волна заведомо обладает как волновыми, так и корпускулярными свойствами. В частности, как известно из опыта, при взаимодействии между собой или с некоторыми другими возмущениями солитоны не разрушаются, а расходятся вновь, сохраняя свою структуру неизменной.

Развиваемый здесь подход позволяет также по-новому взглянуть на трудности, приведшие к отказу квантовой механики от понятия траектории электрона. Согласно изложенному выше, траектория электрона видоизменяется в каждом акте его ускорения или торможения. При большой частоте следования актов излучения и поглощения понятие орбиты естественным образом приобретает вероятностный характер. Однако это обусловлено не принципиальным индетерминизмом элементарных процессов, как в квантовой физике, а их статистической природой.

С термодинамических позиций открывается также иной взгляд на причину квантования энергии излучения. Этой причиной является прерывистый характер самого процесса излучения, а не природа энергии как таковой. Образно говоря, излучаемая энергия подобна дождю, выпадающему в виде отдельных капель. Однако это еще не основание утверждать, что и океан состоит из отдельных капель. Необоснованность переноса идеи квантования энергии излучения на энергию в целом становится особенно очевидной с позиций термодинамики, в которой энергия взаимодействия электрона с ядром является частью внутренней энергии. Эта энергия не может быть величиной отрицательной. Последнее означает, что выражение $-Ze^2/r$, определяющее в механике внешнюю потенциальную энергию электрона, должен быть дополнен членом, делающим эту энергию положительной. Этому условию отвечает выражение $U = Ze^2(1/r_m - 1/r)$, где r_m – минимальное расстояние, до которого могут сблизиться ядро и электрон (подобным же образом для тела, находящегося в поле тяжести Земли, r_m равен её радиусу). В таком случае и энергия электрона E как величина сугубо положительная выразится суммой той ее части, которая скачкообразно изменяется в процессе излучения, и части Ze^2/r_m , не связанной с импульсом P электрона и потому не подлежащей квантованию. Исключение из рассмотрения этой «подводной» части айсберга чревато недопустимо.

Источники информации

1. Эткин В.А. Классические основания квантовой механики./ <http://www.n-t.org/tp/ng/kokm.htm>, 22.09.2001.
2. Эткин В.А. Классическая интерпретация фотоэффекта (<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/5905.html>, 26.08.2003)
3. Эткин В.А. Классическое объяснение спектральных серий (<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/6079.html>, 16.09.2003)
4. Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Теоретическая физика. Т.1. Механика, М.: Наука, 1973.
5. Семенченко В.К. Избранные главы теоретической физики. М.: Просвещение, 1966.
6. Физический энциклопедический словарь (п/ред. А.М. Прохорова). М., 1988.