

Н.Ф. Макеенков, заслуженный учитель РФ, учитель физики, МАОУ лицей № 5, г. Советск, Калининградская область

Путь к пониманию постулатов Бора

«Постулаты Бора подобны кисти и краскам, которые сами по себе еще не составляют картины, но с их помощью можно ее создать [6, с.106]»

Анализируя проведенные уроки, часто приходишь к мысли о том, что не все они дались одинаково. Есть те, которые требуют минимум подготовки, а есть – к которым готовишься не один час и день. Все потому, что они требуют к себе иного подхода. Для их объяснения недостаточно чисто физико – математических знаний. Учитель сам должен прочувствовать ту эпоху, в которой создавался закон, предпосылки его создания, вместе со своими учениками изучить жизнь и творчество открывателя закона. Но зато потом эти уроки становятся особенно дорогими. Таким для нас стали уроки «Постулаты Нильса Бора».

Уроки «Постулаты Нильса Бора» считаю самыми значимыми уроками из всего школьного курса физики, потому что они решают не только образовательные задачи, но имеют еще и большое воспитательное значение.

Для понимания их смысла требуется основательная подготовка, так как, учащиеся должны знать основные разделы динамики и электродинамики. Прежде всего:

- динамику движения тела по окружности;
- импульс тела;
- закон сохранения импульса;
- энергия: потенциальная и кинетическая энергия, закон сохранения энергии;
- законы динамики и закон сохранения энергии;
- закон сохранения энергии и импульса;
- работа и энергия;
- законы сохранения в электродинамике.

Где взять такое количество часов?

Конечно, можно воспользоваться уроками резерва или отведенными на повторение. Мы разработали элективный курс для одиннадцатого класса «В мире физических задач».

Цель данного курса - научить школьников рассуждать, находить ответы на новые вопросы в различных ситуациях, довести их до глубокого понимания сути рассматриваемых явлений, помочь учащимся в преодолении трудностей, возникающих при решении задач.

Задачи курса:

- удовлетворение познавательных интересов учащихся в области физики;
- развитие творческого и нестандартного мышления учащихся;
- привитие навыков исследовательской деятельности и моделирования физических явлений;
- оказание помощи учащимся при подготовке к олимпиадам, ЕГЭ, вступительным экзаменам в вузы.

Весь курс рассчитан на 34 часа, 1 час в неделю. Программа курса разбита на блоки. Структура блока «Законы сохранения» представлена выше.

Понятно, повторение строится на решении задач, что составляет неотъемлемую часть полноценного обучения предмету на любом уровне. Судить о степени понимания физических законов можно по умению сознательно их применять для анализа конкретных физических явлений, т.е. для решения задач. Нарботанный в процессе обучения элективному курсу багаж знаний облегчает ход изучения этого сложного материала, формирует диалектическое мышление.

Прежде, чем перейти к первому постулату Бора, рассматриваем поведение электрона в атоме водорода с классической точки зрения.

Сила, удерживающая электрон на орбите, есть сила кулоновского притяжения между протоном и электроном, которая определяется по формуле:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2} \quad (1), \text{ где } r \text{ — радиус круговой орбиты электрона. Из второго закона}$$

$$\text{Ньютона следует } - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2} = m \frac{V^2}{r} \quad (2), \text{ где } \frac{V^2}{r} \text{ - центростремительное ускорение.}$$

На основании уравнения (2) кинетическая энергия электрона в классическом приближении может быть записана как

$$W_K = \frac{mV^2}{2} = \frac{1}{8\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r} \quad (3).$$

Потенциальная энергия системы – это энергия взаимодействия ядра и электрона. Вспоминаем, что потенциальная энергия взаимодействия двух точечных зарядов определяется по формуле: $U = - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r}$. Для нашего случая

$$U = - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r} \quad (4).$$

Знак «минус» означает, что в данной системе взаимодействуют разноименно заряженные частицы, электрон и протон.

Полная энергия системы равна сумме кинетической и потенциальной энергии:

$$E = K + U = \frac{1}{8\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r} = - \frac{1}{8\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r} \quad (5).$$

Подробно анализируем уравнение (5), не находя в нем ничего особенного. А если подумать?

Не может энергия электрона описываться этим уравнением. Мы недалеко ушли от планетарной модели атома Резерфорда. Слишком скоротечным оказался бы его век. Двигаясь по круговой орбите с центростремительным ускорением, электрон должен излучать электромагнитные волны (энергию), а значить упасть на ядро, прекратив свое существование.

Где выход?

Выход был найден основоположником квантовой физики -Нильсом Хенриком Дейвидом Бором. На этом этапе рассматриваем презентацию о жизни и творчестве этого замечательного ученого, человека Мира. Акцентируем внимание на роль семьи в его воспитании.

Еще и еще раз подчеркиваем, что Нильс Бор изначально вступая в противоречие с современной электродинамикой, применяя классические законы физики, используя их вместе с законами Ньютона объясняет возникшие противоречия, введя правила квантования.

1. Электрон обращается вокруг протона в атоме водорода, совершая равномерное движение по круговой орбите под действием кулоновской силы и в соответствии с законами Ньютона.

2. Из всех возможных орбит являются разрешенными только те, для которых момент импульса электрона равен целому числу, умноженному на

$$\frac{h}{2\pi} = \hbar, \text{ т.е.,}$$

$$L = mVr = n \frac{h}{2\pi} = n\hbar,$$

$n=1, 2, 3, \dots$ (6), где h — постоянная Планка и $\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34}$ Дж с.

3. Далее предлагаем учащимся вывести второе правило квантования, смысл которого заключается в том, что электрон в атоме может находиться только на определенных орбитах, определенного радиуса, то есть радиус орбиты квантуется. Применяя закон Кулона и второй закон Ньютона и первое правило квантования получаем

$$r_n = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{me^2} n^2, \quad n = 1.2.3....$$

Подставив числовые значения, находим

$$\frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{me^2} = 0,53 \text{ \AA}, \text{ таким образом- } r_1 = 0,53 \text{ \AA},$$

Ясно, что после этого учащиеся легко находят радиус любой орбиты, используя полученный результат.

4. Доказываем, что из этого вытекает квантования скорости:

$$V = \frac{n\hbar}{mr} \frac{n\hbar}{mr}$$

Таким образом, подходим к первому постулату, еще не зная его определение, доказав, что полная энергия квантуется, то есть принимает вполне определенные значения

$$W_n = - \frac{m e^4}{32 \pi^2 \epsilon_0^2 \hbar^2} \left(\frac{1}{n^2}\right)^2 \text{ или } W_n = - \frac{13,6}{n^2} \text{ эВ.}$$

Далее предлагаю найти энергию электрона на первых трех – четырех уровнях. Прошу обратить внимание на расстояние между ними. Выстраиваем диаграмму энергетических уровней. Обращаем внимание на то, что при $n \rightarrow \infty \quad W_\infty \rightarrow 0$.

Вот почему существует нулевой уровень энергии.

Хорошо, что моим ученикам стал понятен физический смысл постулатов, но они должны понять ту эпоху и самого основоположника квантовой физики - Нильса Хенрика Дейвида Бора. Уделив столь много времени первому постулату, надо не забывать и о втором. Учítывая, что база для его понимания уже заложена, он может быть изучен на уроке учениками самостоятельно (на самом деле это методически оправдано). Обращаю внимание учащихся на то, что модель атома, предложенная Бором оказалась достаточно удачной. Все ее предположения хорошо совпадали с результатами экспериментальных измерений. Модель могла получить выражение для всех длин волн спектра водорода, т.е. формулу Бальмера. Можно упомянуть серию Пашена и Лаймана (на усмотрение учителя)

В заключение, решаем задачи по этой теме. Я предлагаю задачи, взятые с сайта ФИПИ:

1. К экспериментам, которые привели к представлению о дискретности энергии состояний атома, относится:

- 1) наблюдение спектра излучения атомов водорода
- 2) наблюдение падения маленьких капель жидкости в электрическом поле
- 3) наблюдение броуновского движения
- 4) наблюдение фотоэффекта

Ответ: 1.

2. Дискретность энергии, характеризующей состояния атома, проявляются

Ответ: в любых атомах.

3. Частота фотона поглощаемого атомом при переходе из основного состояния с энергией E_0 в возбужденное с энергией E_1 , равна (h – постоянная Планка).

- 1) $\frac{E_0}{h}$;
- 2) $\frac{E_1}{h}$;
- 3) $\frac{E_1 - E_0}{h}$;
- 4) $\frac{E_0 - E_1}{h}$

Ответ: 3.

4. Излучение фотонов происходит при переходе из возбужденных состояний с энергиями $E_1 > E_2 > E_3$ в основное состояние. Для частот соответствующих фотонов ν_1, ν_2, ν_3 справедливо соотношение

- 1) $\nu_1 < \nu_2 < \nu_3$; 2) $\nu_2 < \nu_1 < \nu_3$; 3) $\nu_1 > \nu_2 > \nu_3$; 4) $\nu_2 < \nu_3 < \nu_1$

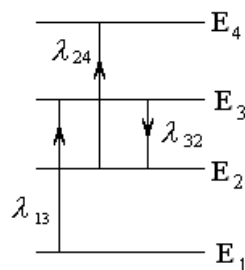
Ответ: 3.

5. Атомы одного элемента, находившиеся в состоянии с энергиями E_1 и E_2 , при переходе в основное состояние испустили фотоны с длинами волн λ_1 и λ_2 соответственно, причем $\lambda_1 > \lambda_2$. Для энергий этих состояний справедливо соотношение;

- 1) $E_1 < E_2$; 2) $E_1 = E_2$; 3) $|E_1| > |E_2|$; 4) $E_1 > E_2$

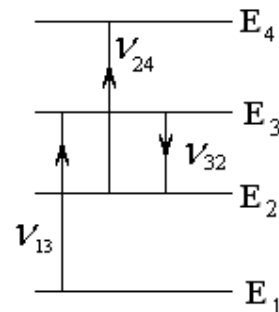
Ответ: 3ю

6. На рисунке изображены энергетические уровни атома и указаны длины волн для фотонов, излучаемых и поглощаемых при переходах с одного уровня на другой. Какова минимальная длина волны для фотонов, излучаемых атомом при всех возможных переходах между уровнями E_1, E_2, E_3 и E_4 , если $\lambda_{13} = 300\text{нм}$, $\lambda_{24} = 400\text{нм}$, $\lambda_{32} = 500\text{нм}$? Ответ выразите в нм, округлив до целых.



Ответ: 260.

7. На рисунке представлены несколько энергетических уровней электронной оболочки атома. Минимальная длина волны света, излучаемого при всех возможных переходах между уровнями E_1, E_2, E_3 и E_4 равна $\lambda_{\min} = 250\text{нм}$. Известно, что частоты переходов относятся друг к другу как $\nu_{13} : \nu_{24} : \nu_{32} = 9 : 7 : 4$. Найдите длину света частотой ν_{32} . Ответ выразите в нанометрах, округлив до целых.



Ответ: 750

В 1949 г. Альберт Эйнштейн вспоминал об эпохе создания квантовой механики: «Все мои попытки приспособить теоретические основы физики к новым результатам потерпели полную неудачу. Это было так, точно из-под ног ушла земля и нигде не видно было твердой почвы, на которой можно было бы строить. Мне всегда казалось чудом, что этой колеблющейся и полной противоречий основы оказалось достаточно, чтобы позволить Бору - человеку с гениальной интуицией и тонким чутьем - найти главные законы спектральных линий и электронных оболочек атомов, включая их значение для химии. Это мне кажется чудом и теперь. Это — наивысшая музыкальность в области мысли [6, с.106]».

Такой подход к изучению постулатов, с моей точки зрения, исключает формальное их понимание. В сущности, я вел их по пути самого Нильса Бора, получив те же результаты, что и он (пусть, и гораздо более простым путем, это не важно). Да и сам я, вот уже какой год, от результатов изучения этого сложного, но очень интересного материала, испытываю моральное удовлетворение. Ведь после этого учащиеся с большим интересом (и успехом) изучают раздел «Излучение и спектры». И особое теперь у них отношение к лазерам и голографии. Теперь они могут спокойно объяснить их применение во всех областях нашей жизни. Забегая в их будущее, скажу, что на студенческой скамье ими без труда будут усвоены такие темы как:

- Природа серийных линий Лаймана, Бальмера, Пашена;
- Волновые свойства частиц;
- Соотношение неопределенностей;
- Элементы квантовой механики.

Список литературы:

1. Я.М. Гельфер. Законы сохранения. - М.: Наука, 1987.
2. Хрестоматия по физике 8-10 класс. Сост. А.С Енохович, О.Ф. Кабардин и др.- М.: Просвещение, 1987.
3. Физика и химия. Сост. А.А.Воротников. - Минск: Харвест, 1995.
4. Л.В. Тарасов. Этот удивительно симметричный мир. - М.: Просвещение, 1981.
5. Л.И. Пономарев. Под знаком кванта. - Москва «Наука», 1989.
6. .Р.Мур. Нильс Бор – человек и ученый – Москва «Мир», 1996.