

Урок №10 (18.03.2013) Начала атомной физики (продолжение).

1. Начала атомной физики

Уровни энергии атома водорода

Для описания спектров простых атомов, особенно атома водорода, неплохо подходит планетарная модель атома, в которой электрон движется по круговым орбитам. Согласно правилу квантования, длина такой орбиты должна быть кратна длине волны де Бройля для электрона. Длина волны де Бройля определяется так: $\lambda = h/p$, где h – постоянная Планка, а p – импульс электрона.

Тогда можно записать: $n\lambda = 2\pi r_n$, где r_n – радиус n -ной круговой орбиты. Подставляя длину волны де Бройля для электрона, получаем:

$$n \frac{h}{p} = 2\pi r_n, \quad mvr_n = \frac{nh}{2\pi}, \quad \text{или}$$

$$mvr_n = n\hbar.$$

Запишем второй закон Ньютона для электрона, движущегося по орбите радиуса r вокруг ядра (в гауссовой системе единиц):

$$m \frac{v^2}{r} = \frac{e^2}{r^2}, \quad \text{или} \quad mv^2 = \frac{e^2}{r}.$$

Также можем записать энергию электрона (сумма кинетической энергии и потенциальной энергии электрического взаимодействия электрона с ядром):

$$E = \frac{mv^2}{2} - \frac{e^2}{r},$$

или, учитывая предыдущую формулу

$$E = -\frac{mv^2}{2}.$$

Исключая v , получим радиусы разрешённых орбит и энергии E_n стационарных состояний:

$$v = \frac{n\hbar}{mr_n}, \quad mv^2 = m \frac{n^2 \hbar^2}{m^2 r_n^2} = \frac{n^2 \hbar^2}{mr_n^2}.$$

Учитывая, что выше мы получили, что $mv^2 = \frac{e^2}{r}$, получаем для r_n и E_n :

$$r_n = \frac{\hbar^2}{me^2} n^2 = a_0 n^2,$$

$$E_n = -\frac{me^4}{2\hbar^2} \frac{1}{n^2} = -R \frac{1}{n^2},$$

где $R = \frac{me^4}{2\hbar^2} = 13.6 \text{ эВ}$ – энергия ионизации атома водорода, т.е. минимальная энергия, которую надо сообщить электрону в атоме водорода в основном энергетическом состоянии, чтобы удалить его на бесконечность.

Величина $a_0 = \frac{\hbar^2}{me^2} = 0.53 \cdot 10^{-8} \text{ см}$ называется Боровским радиусом – это минимальный радиус электрона в атоме водорода.

Спектральные серии

Тут расскажем о спектрах излучения и энергетической схеме атома, т.е. ровно о том, что надо знать для ЕГЭ.

Для атома водорода изучены спектральные серии. Они хорошо подчиняются формуле Ридберга: $h\nu = \frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right)$, где $R = 109677 \text{ см}^{-1}$ – постоянная Ридберга.

Серия Лаймана: $\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right)$. *Предел Лаймана* при $n = \infty$, $\lambda = 91,15 \text{ нм}$ – самые короткие волны излучения водорода. Т.к. наиболее древние (дальние) звёзды состоят преимущественно из водорода, то красное смещение этой линии позволяет определить скорость движения таких звёзд относительно земли.

Серия Бальмера: $\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ – самая известная, т.к. первые 4 линии лежат в видимом диапазоне. Чаще всего встречается в ЕГЭ.

Также есть серии Пашена, Брэккета, Пфунда и Хэмпфри (соответственно для $n' = 3, 4, 5, 6$).

2. Атомное ядро

Ядро атома состоит из элементарных частиц, имеющих общее наименование *нуклоны*. Нуклоны делятся на положительно заряженные *протоны* и нейтральные *нейтроны*. Масса нуклонов примерно в 2000 раз больше массы электронов. Заряд протона по модулю равен заряду электрона.

Заметим, что протоны и нейтроны не являются «истинно элементарными» частицами, т.к. состоят из кварков. Но это тема не этого урока.

Атомное ядро характеризуется двумя числами: *зарядовым числом* Z (число протонов) и *массовым числом* A (число нуклонов). Иногда ещё вводят *изотопическое число* N – число нейтронов. $A = N + Z$. Массовое число примерно равно массе элемента, измеряется в атомных единицах массы.

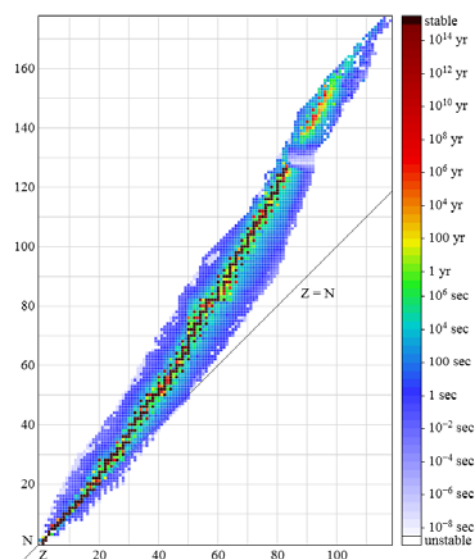
Ядра с одинаковым зарядом, но отличающиеся количеством нейтронов, называются *изотопами*. Все изотопы имеют одни и те же химические свойства, но при этом с точки зрения атомной и ядерной физики ведут себя существенно по-разному.

Обозначение (на примере урана): ${}_{92}^{238}\text{U}$, ${}_{92}^{235}\text{U}$ – два изотопа урана (заряд ядра 92), с разным количеством нейтронов (146 и 143 соответственно).

Радиоактивность.

Далеко не все ядра стабильны. Например, все ядра с $N > 82$ через некоторое время распадаются на другие, более лёгкие. При этом обычно кроме получившихся атомов, вылетают ещё какие-то частицы. Этот процесс называется радиоактивностью. Открыл радиоактивность в 1896 году Беккерель, занимавшийся люминесценцией.

Исторически получилось так, что сначала вылетающие в процессе деления ядер частицы называли *лучами*. Были обнаружены α -, β - и γ -лучи, Резерфорд обнаружил, что они по-разному отклоняются в магнитном поле. Впоследствии выяснилось, что α -лучи – это ядра атома гелия (${}^4_2\text{He}$), β -лучи – электроны (иногда и антиэлектроны, т.е. позитроны, точно такие же частицы, что и электроны, но положительно заряженные), а γ -лучи – фотоны.



Радиоактивный распад происходит спонтанно (т.е. непредсказуемо), но при этом среднее время жизни атома определённого типа всегда одно и то же. Из этого можно получить закон радиоактивного распада: $\frac{dN}{dt} = -\lambda N$, что означает, что за интервал

времени t в произвольном веществе пропорционально числу имеющихся в образце атомов N . λ – постоянная распада, которая характеризует вероятность радиоактивного распада за единицу времени. Период полураспада $T_{1/2}$ – время, за которое приблизительно половина атомов образца распадается: $T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$.

Ядерные реакции

Объясним на примерах:

