

## Атомы и ядра

Задача 1. (МФТИ, 1974) В одной из моделей молекулярного иона водорода  $\text{H}_2^+$  полагается, что электрон движется по круговой орбите, лежащей в плоскости, перпендикулярной линии, соединяющей протоны. Расстояние между протонами равно  $r$ , заряд электрона —  $e$ , его масса —  $m$ . Найти скорость, с которой движется электрон.

$$\left(1 - \frac{9\Gamma\Lambda}{\varepsilon}\right) \frac{m}{\varepsilon^2} \sqrt{\Lambda} = a$$

Задача 2. (МФТИ, 1997) Неподвижный атом водорода, находившийся в возбуждённом состоянии, излучает фотон и начинает двигаться. Найти величину скорости атома после излучения фотона. Энергия возбуждения атома водорода  $W = 1,63 \cdot 10^{-18}$  Дж, энергия покоя атома водорода  $mc^2 = 1,40 \cdot 10^{-10}$  Дж, где  $m$  — масса покоя атома, а  $c$  — скорость света. При расчёте движения атома водорода можно использовать нерелятивистские формулы.

Указание. При  $x \ll 1$  можно считать, что  $(1+x)^\alpha \approx 1 + \alpha x$ .

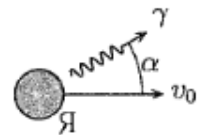
$$c/m \varepsilon \varepsilon \approx \frac{cm}{M} \approx \left(1 - \frac{\varepsilon^2 m}{M^2} + \Gamma \sqrt{\Lambda}\right) c = a$$

Задача 3. (МФТИ, 1997) Неподвижный невозбуждённый атом водорода поглощает фотон. В результате атом переходит в возбуждённое состояние и начинает двигаться. Найти величину скорости атома после поглощения фотона. Энергия возбуждения атома  $W = 1,63 \cdot 10^{-18}$  Дж, энергия покоя атома  $mc^2 = 1,40 \cdot 10^{-10}$  Дж, где  $m$  — масса атома,  $c$  — скорость света.

Указание. При  $x \ll 1$  можно считать, что  $(1-x)^\alpha \approx 1 - \alpha x$ .

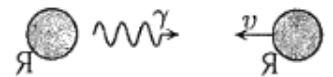
$$c/m \varepsilon \varepsilon \approx \frac{cm}{M} \approx \left(\frac{\varepsilon^2 m}{M^2} - \Gamma \sqrt{\Lambda} - 1\right) c = a$$

Задача 4. (МФТИ, 2002) Гамма-излучением называется электромагнитное излучение при переходах атомных ядер из возбуждённых в более низкие энергетические состояния.  $\gamma$ -квант испускается движущимся со скоростью  $v = 63,2$  м/с ядром атома олова  $^{119}\text{Sn}$  под углом  $\alpha = 60^\circ$  к направлению его движения с энергией, равной энергии перехода ядра из возбуждённого в основное состояние (см. рисунок). Найти энергию  $\gamma$ -кванта. Энергия покоя ядра олова  $W_0 = mc^2 = 113$  ГэВ.



$$E_\gamma = 2W_0 \frac{v}{c} \cos \alpha = 23,8 \text{ кэВ}$$

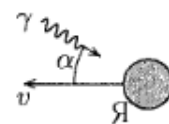
Задача 5. (МФТИ, 2002) Гамма-излучением называется электромагнитное излучение при переходах атомных ядер из возбуждённых в более низкие энергетические состояния.  $\gamma$ -квант с энергией  $E_\gamma = 23,8$  кэВ испускается покоящимся ядром атома олова  $^{119}\text{Sn}$ ,



а затем поглощается таким же ядром, движущимся навстречу  $\gamma$ -кванту (см. рисунок). Какую скорость  $v$  должно иметь ядро, чтобы поглотить испущенный  $\gamma$ -квант? Энергия покоя ядра олова  $W_0 = mc^2 = 113$  ГэВ. При испускании и поглощении  $\gamma$ -кванта осуществляется переход между одними и теми же энергетическими состояниями ядра.

$$c/m \varepsilon \varepsilon = c \frac{0M}{\varepsilon} = a$$

ЗАДАЧА 6. (МФТИ, 2002) Электромагнитное гамма-излучение, поглощаясь атомными ядрами, переводит их в возбуждённое состояние (с основного энергетического уровня на более высокие уровни энергии).  $\gamma$ -квант, испущенный одним из ядер олова, поглощается движущимся навстречу под углом  $\alpha = 60^\circ$  к направлению его движения ядром олова  $^{119}\text{Sn}$  (см. рисунок). Найти скорость движения ядра  $v$ , если энергия  $\gamma$ -кванта  $E_\gamma = 23,8$  кэВ равна энергии перехода ядра из основного в возбуждённое состояние. Энергия покоя ядра олова  $W_0 = mc^2 = 113$  ГэВ. При испускании и поглощении  $\gamma$ -кванта осуществляется переход между одними и теми же энергетическими состояниями ядра.



$$c/v \approx 2,39 = c \frac{W_0}{E_\gamma} = a$$

ЗАДАЧА 7. (МФТИ, 2002) Ядро атома олова  $^{119}\text{Sn}$  движется со скоростью  $v = 63$  м/с и испускает  $\gamma$ -квант в том же направлении, который затем поглощается неподвижным свободным ядром олова (см. рисунок). Найти энергию  $\gamma$ -кванта. Энергия покоя ядра олова  $W_0 = mc^2 = 113$  ГэВ. При испускании и поглощении  $\gamma$ -кванта осуществляется переход между одними и теми же энергетическими состояниями ядра.



$$E_\gamma = W_0 \frac{v}{c} = 23,7 \text{ кэВ}$$

ЗАДАЧА 8. (МФТИ, 1976) Атом вещества с атомным весом  $A$ , жёстко закреплённый в кристаллической решётке, поглощает свет с частотой  $\nu_0$ . При какой частоте будет наблюдаться поглощение в этом веществе, находящемся в газообразном состоянии? Масса протона равна  $m_p$ .

$$\left( \frac{c^2 \nu^2}{\nu_0^2} + 1 \right)^{0,5} = a$$

ЗАДАЧА 9. Тело массы  $m$  с кинетической энергией  $T$  налетает на неподвижное тело массы  $M$ . Пусть  $Q$  — увеличение внутренней энергии тел в результате столкновения. Покажите, что величина  $Q$  максимальна при абсолютно неупругом столкновении, и найдите это максимальное значение  $Q_{\max}$ . Чему равно  $Q_{\max}$  при  $m = M$  и при  $m \ll M$ ?

$$Q_{\max} = \frac{m+M}{M} T = x \text{ мш } \mathcal{D}$$

ЗАДАЧА 10. (МФТИ, 1981) На неподвижный невозбуждённый атом водорода налетает другой невозбуждённый атом водорода. Какова должна быть минимальная кинетическая энергия налетающего атома, чтобы в результате столкновения мог излучиться фотон? Энергия ионизации атома водорода равна 13,6 эВ. Частоты излучения атома водорода определяются формулой

$$\nu = R \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right),$$

где  $R$  — постоянная,  $n$  и  $m$  — целые числа.

$$T_{\min} = 20,4 \text{ эВ}$$

ЗАДАЧА 11. (МФТИ, 1982) Частоты излучения возбуждённого атомарного водорода описываются формулой

$$\nu_{nm} = R \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right),$$

где  $R$  — некоторая постоянная,  $n$  и  $m$  — целые числа. Первоначально невозбуждённый водород начинает излучать фотоны, если через него пропустить пучок электронов, прошедших ускоряющую разность потенциалов не менее  $U_0 = 10,2$  В. Какую минимальную ускоряющую разность потенциалов должен пройти пучок протонов, чтобы при пропускании их через первоначально невозбуждённый водород последний начал излучать фотоны? Сколько электрон-вольт составляет величина энергии ионизации атома водорода? Считать, что масса электрона много меньше массы протона; атом водорода перед ударом неподвижен.

$$U_{\text{min}} = 20,4 \text{ эВ}; E_i = 13,6 \text{ эВ}$$

ЗАДАЧА 12. (МФТИ, 1982) Газообразный дейтерий (изотоп водорода) является водородоподобным атомом. Частоты излучения возбуждённого дейтерия описываются формулой

$$\nu_{nm} = R \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right),$$

где  $R$  — некоторая постоянная,  $n$  и  $m$  — целые числа. Если через трубку с первоначально невозбуждённым дейтерием пропускать пучок ускоренных протонов, то газ начинает излучать фотоны при энергии протонов не менее  $15,3$  эВ. Какую минимальную ускоряющую разность потенциалов должен пройти пучок электронов, чтобы при пропускании их через первоначально невозбуждённый дейтерий последний начал излучать фотоны? Сколько эВ составляет величина энергии ионизации газообразного дейтерия? Считать, что масса электрона много меньше массы протона; атом дейтерия перед столкновением неподвижен.

$$U_{\text{min}} = 10,2 \text{ эВ}; E_i = 13,6 \text{ эВ}$$