

35^{ая} Международная Химическая Олимпиада
Задания теоретического Тура
РАЗДЕЛ В: Физическая химия
Решения.

Задание 25

1) По закону сохранения энергии, энергия покоя мюона равна сумме энергий электрона и пары $\bar{\nu}_e + \nu_\mu$.

$$E_\mu = m_\mu c^2 = E_e + E_{\nu, \bar{\nu}}$$

Энергия электрона складывается из энергии покоя и кинетической энергии:

$$m_\mu c^2 = m_e c^2 + T_e + E_{\nu, \bar{\nu}}$$

Поделив это уравнение на квадрат скорости света, находим массу покоя мюона:

$$\begin{aligned} m_\mu &= m_e + (T_e + E_{\nu, \bar{\nu}}) / c^2 = \\ &= 9.109 \times 10^{-31} + (1.4846 \times 10^{-11} + 2.000 \times 10^{-12}) / (2.998 \times 10^8)^2 \\ &= 1.883 \times 10^{-28} \text{ кг} \end{aligned}$$

2) Из теории Бора водородоподобных атомов следует, что уровни энергии атома зависят от приведенной массы атома m и главного квантового числа n следующим образом:

$$E_n = -\frac{me^4}{2n^2\hbar^2} = -109700 \text{ см}^{-1} \cdot \frac{1}{n^2} \cdot \left(\frac{m}{m_e}\right),$$

где в случае атома мюония приведенная масса равна:

$$m = \frac{m_\mu m_H}{m_\mu + m_H}$$

В задаче описан переход между возбужденными состояниями: $n = 4 \rightarrow n = 2$. Длина волны этого перехода:

$$\lambda = \frac{1}{E_4 - E_2} = \frac{1}{109700 \left(\frac{m}{m_e}\right) \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{16}\right)} = 2.615 \times 10^{-7} \text{ см},$$

откуда находим приведенную массу атома мюония:

$$\begin{aligned} m / m_e &= 185.9 \\ m &= 185.9 \times 9.109 \times 10^{-31} = 1.693 \times 10^{-28} \text{ кг}. \end{aligned}$$

Из справочных таблиц находим массу протона: $m_H = 1.673 \times 10^{-27}$ кг. Масса мюона равна:

$$m_\mu = \frac{m \cdot m_H}{m_H - m} = \frac{1.693 \times 10^{-28} \times 1.673 \times 10^{-27}}{1.673 \times 10^{-27} - 1.693 \times 10^{-28}} = 1.884 \times 10^{-28} \text{ кг}.$$

Этот результат только в четвертом знаке отличается от того, который был получен в п. 1 кинетическим методом.

Ответ. 1) 1.883×10^{-28} кг. 2) 1.884×10^{-28} кг.

Задание 26

Это – довольно простая задача, в которой надо просто аккуратно использовать приведенные в тексте формулы и учесть размерность.

(1) Разность частот находится по любым двум линиям в спектре:

$$\Delta\nu = 1150 - 1035 = 115 \text{ ГГц.}$$

(2) Из формул в тексте следует:

$$B = h \cdot \Delta\nu / 2 = 6.63 \times 10^{-34} \times 115 \times 10^9 / 2 = 3.81 \times 10^{-23} \text{ Дж.}$$

(3) Для расчета межъядерного расстояния надо найти приведенную массу молекулы $^{12}\text{C}^{16}\text{O}$:

$$\mu = \frac{m(\text{C}) \cdot m(\text{O})}{m(\text{CO})} = \frac{12 \cdot 16}{28} = 6.86 \text{ а.е.м.} = 1.14 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$$

$$R = \frac{h}{2\pi\sqrt{2\mu B}} = \frac{6.63 \cdot 10^{-34}}{2 \cdot 3.14 \cdot \sqrt{2 \cdot 1.14 \cdot 10^{-26} \cdot 3.81 \cdot 10^{-23}}} = 1.13 \cdot 10^{-10} \text{ м} = 1.13 \text{ \AA.}$$

Ответ. (1) 115 ГГц. (2) 3.81×10^{-23} Дж; (3) 1.13 \AA.

Задание 27

1) Равновесные длины связей находятся по графику: это – положения минимумов потенциальной энергии:

$$r(\text{H}_2) = 0.75 \text{ \AA},$$
$$r(\text{H}_2^+) = 1.05 \text{ \AA}.$$

2) Если пренебречь незначительной нулевой колебательной энергией, то энергия связи равна глубине потенциальной ямы, т.е. разности между значением потенциальной энергии на бесконечности и ее минимальным значением.

$$E_{\text{св}}(\text{H}_2) = -2620 - (-3080) = 460 \text{ кДж/моль},$$
$$E_{\text{св}}(\text{H}_2^+) = -1310 - (-1580) = 270 \text{ кДж/моль}.$$

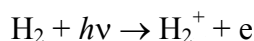
3) Если пренебречь незначительной нулевой колебательной энергией, то энергия ионизации равна разности между минимумами потенциальной энергии иона и молекулы:

$$IE(\text{H}_2) = -1580 - (-3080) = 1500 \text{ кДж/моль}.$$

4) Энергия ионизации атома водорода равна разности между асимптотическими значениями потенциальной энергии иона и молекулы:

$$IE(\text{H}) = -1310 - (-2620) = 1310 \text{ кДж/моль}.$$

5) Под действием света в молекуле происходит вертикальный (т.е. без изменения межъядерного расстояния) переход и образуются свободный электрон и колебательно возбужденный ион H_2^+ с энергией: $E(r = 0.75 \text{ \AA}) = -1510 \text{ кДж/моль}$. Для реакции



запишем закон сохранения энергии:

$$E(\text{H}_2) + h\nu = E(\text{H}_2^+) + mV^2/2, \text{ где } m \text{ и } V \text{ – масса и скорость электрона.}$$

$$V = \sqrt{\frac{2(E(\text{H}_2) - E(\text{H}_2^+) + h\nu)}{m}} =$$
$$= \sqrt{\frac{2\left(\frac{-3080 \cdot 10^3 - (-1510 \cdot 10^3)}{6.02 \cdot 10^{23}} + 6.63 \cdot 10^{-34} \cdot 4.1 \cdot 10^{15}\right)}{9.11 \cdot 10^{-31}}} = 492 \cdot 10^3 \text{ м/с}$$

Ответ. 1) 0.75 Å, 1.05 Å. 2) 460 кДж/моль и 270 кДж/моль. 3) 1500 кДж/моль. 4) 1310 кДж/моль.
5) 492 км/с.

Задание 28

1) Процесс смешивания льда и NaCl с образованием раствора – самопроизвольный. Правильный ответ – Д.

2) В самопроизвольном процессе энтропия увеличивается, ее изменение – положительное. Правильный ответ – Н.

3) Массовая доля соли в растворе: $\omega(\text{NaCl}) = 150 / (1000 + 150) = 0.13$. Этому значению на графике отвечает температура замерзания -9°C .

4) В воде соли диссоциированы полностью. Найдем количество ионов, образующихся в растворе при добавлении по 150 г NaCl и MgCl₂ к 1 кг льда:

$$v(\text{NaCl}) = 150 / 58.5 = 2.56;$$

$$v_{\text{общ}}(\text{Na}^+, \text{Cl}^-) = 2 \times 2.56 = 5.12 \text{ моль.}$$

$$v(\text{MgCl}_2) = 150 / 95 = 1.58;$$

$$v_{\text{общ}}(\text{Mg}^{2+}, \text{Cl}^-) = 3 \times 1.58 = 4.74 \text{ моль} < 5.12 \text{ моль.}$$

Во втором случае количество ионов, приходящееся на 1 кг растворителя, меньше, поэтому температура замерзания раствора выше. Правильный ответ – Д.

Ответ. 1) Д. 2) Н. 3) -9°C . 4) Д.

Задание 29

1) $Q = Wt = 500 \times 20 \times 60 = 6 \times 10^5 \text{ Дж} = 600 \text{ кДж.}$

2) Резистор питается от внешнего источника тока, поэтому его состояние после окончания нагревания не изменяется: сколько получил энергии, столько и отдал, поэтому его энтропия также не изменяется: $\Delta S_{\text{резистор}} = 0$.

3) При нагревании воды ее энтропия увеличивается: $\Delta S_{\text{вода}} > 0$.

4) Изменение энтропии всей системы равно сумме изменений энтропии резистора и воды: первая равна 0, а вторая положительна, поэтому $\Delta S_{\text{система}} > 0$.

5) Поскольку энтропия системы увеличилась, процесс является необратимым. Правильный ответ – Н.

Задание 30

Изменение показаний весов в момент закрытия чашки: $\delta m = 0.01 \text{ г}$. Скорость изменения массы при испарении этанола можно определить по графику:

$$\frac{dm}{dt} = \frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{0.14 \text{ г}}{4 \text{ мин}} = 0.035 \text{ г/мин} = 5.8 \times 10^{-4} \text{ г/с.}$$

Подставляя эти значения в уравнение:

$$\delta m \cdot g = \frac{1}{2} u \frac{dm}{dt},$$

находим среднюю скорость молекул этанола в газовой фазе:

$$u = \frac{0.01 \cdot 9.81 \cdot 2}{5.8 \times 10^{-4}} = 338 \text{ м/с.}$$

Ответ. 338 м/с.