

--	--	--	--	--	--	--	--

Задачи регионального тура олимпиады по химии 2023/24 уч.г.

10 класс

Гран-при: 6-ая задача

В этом задании нужно будет уравнивать и массу, и заряд, и энергию. Для записи ядерных реакций используй специальные обозначения частиц, химических элементов и их изотопов. Находящийся слева от символа элемента верхний индекс показывает суммарное количество протонов и нейтронов, которое известно как массовое число и измеряется в атомных единицах массы. Находящийся слева от символа элемента нижний индекс показывает суммарное число зарядов, которое также известно как зарядовое число и измеряется в элементарных зарядах. Это зарядовое число действует для субатомных ядерных частиц также, как и для электронов и нейтрино. Например, состоящий из двух протонов и двух нейтронов гелий-4 записывается как ${}^4_2\text{He}$ и электрон как ${}_{-1}^0e$. Как правило зарядовое число не пишут, так как оно однозначно связано с символом частицы.

При расстановке коэффициентов в уравнениях ядерных реакций убедись, чтобы сумма массовых чисел в обеих частях уравнения была одинаковой, для достижения массового баланса. Для баланса зарядов сумма зарядовых чисел также должна быть равна в обеих частях уравнения.

Для уравнивания энергии следует полагаться на два важных закона. Во-первых, закон Гесса, который гласит, что тепловой эффект суммарной реакции равен сумме тепловых эффектов частных реакций, при комбинировании которых получается суммарная реакция. В то же время, изменение направления реакции на противоположное меняет только знак энергии, но не ее величину. Во-вторых, закон сохранения энергии и массы, который связывает изменение массы в ядерных реакциях с изменением энергии реакции. Это отношение описывает известное уравнение Эйнштейна $E = mc^2$. При решении задачи важно также знать уравнение Планка-Эйнштейна $E = h\nu$, где E – энергия фотона, h – постоянная Планка ($h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж с) и ν – частота света. Скорость света c равна $3,00 \cdot 10^8$ м с $^{-1}$. Уравнение состояния идеального газа $pV = nRT$, где p – давление, V – объем газа, n – количество молекул газа, T – абсолютная температура и R – универсальная газовая постоянная ($R = 8,314$ Дж моль $^{-1}$ К $^{-1}$).

Горячий и холодный гелий (20 б)

Гелий – это интересный элемент, который на пару с водородом присутствовал во Вселенной с момента ее создания. Большая часть гелия возникло в результате ядерного синтеза при Большом Взрыве. Гелий также является главным продуктом ядерного синтеза в звездах. Помимо этого гелий образуется, когда нуклиды разлагаются спонтанно или под действием космического излучения, выделяя ${}^4\text{He}$.

а) Напиши нижние индексы и закончи уравнения, которые описывают эти процессы. (2)

${}^1\text{H} + {}^1\text{n} \rightarrow \dots\dots\dots$	${}^6\text{Li} + {}^1\text{H} \rightarrow {}^4\text{He} + \dots\dots\dots$
${}^2\text{H} + \dots\dots\dots \rightarrow {}^3\text{He} + {}^1\text{n}$	${}^{15}\text{N} + {}^1\text{H} \rightarrow {}^4\text{He} + \dots\dots\dots$
${}^2\text{H} + \dots\dots\dots \rightarrow {}^3\text{H} + {}^1\text{H}$	${}^{238}\text{U} \rightarrow {}^4\text{He} + \dots\dots\dots$
${}^3\text{He} + {}^2\text{H} \rightarrow \dots\dots\dots + \dots\dots\dots$	${}^3\text{H} \rightarrow {}_{-1}^0e + \dots\dots\dots$

--	--	--	--	--	--	--	--

Ион гидрида гелия был первым химическим соединением, возникшим во Вселенной после Большого Взрыва. В лабораторных условиях HeH^+ возникает при разложении молекулы сверхтяжелого водорода $^3\text{H}_2$. Являясь суперкислотой, HeH^+ реагирует с любой молекулой при столкновении, что в межзвездном пространстве происходит достаточно редко, но на Земле такие столкновения случаются часто.

б) Закончи и расставь коэффициенты в уравнениях. (1)

$\text{He} + \text{H}^+ \rightarrow \dots\dots\dots$	$\text{HeH}^+ + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{He} + \dots\dots\dots$
$^3\text{H}_2 \rightarrow \text{He}^3\text{H} + \dots\dots\dots$	$\text{HeH}^+ + \text{NH}_3 \rightarrow \dots\dots\dots + \dots\dots\dots$

Гелий это благородный газ с самой маленькой молярной массой. Даже если речь идет об одном из самых инертных веществ, известных в химии, свойства газа и способы его применения уникальны. Гелий один из самых редких элементов на Земле, однако во Вселенной это второй по распространенности элемент после водорода. Поскольку гелий находится в составе многих звезд, именно его и нашли в составе Солнца и назвали в честь древнегреческого слова *Helios*, что означает “звезда”.

Электроны в атомах и ионах могут находиться на разных орбиталях, у которых также различная энергия. Для перемещения электрона на орбиталь с более высоким энергетическим уровнем, частица может поглотить фотон, энергия которого должна точно соответствовать разности энергий орбиталей. Энергию межорбитального перехода элемента можно рассчитать с помощью уравнения Ридберга:

$$\frac{1}{\lambda} = R \cdot Z^2 \cdot \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right),$$

где $R = 1,10 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$, Z – заряд ядра элемента, n_1 и n_2 – квантовые числа, соответствующие энергетическим уровням, между которыми происходит переход.

с) Определи с помощью расчетов линии спектра испускания Солнца, соответствующие трём элементам. Каждой линии спектра соответствует один элемент (H , He^+ или Li^{2+}) и для каждого элемента приведена только одна из линий: $\lambda_1 = 164,117 \text{ нм}$, $\lambda_2 = 121,568 \text{ нм}$, $\lambda_3 = 54,030 \text{ нм}$. (3)

1.

λ_1 соответствует

--	--	--	--	--	--	--	--

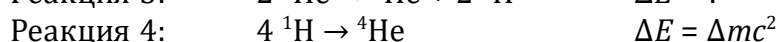
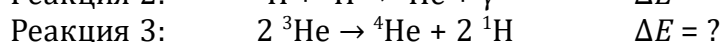
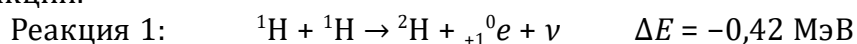
2.

 λ_2 соответствует

3.

 λ_3 соответствует

Почти вся энергия, выделяемая Солнцем, возникает в результате термоядерных реакций:



Масса ${}^1_1\text{H}$ равна 1,00782 а.е.м. и масса ${}^4_2\text{He}$ равна 4,00260 а.е.м., масса позитрона ${}^0_{+1}e$ равна массе электрона 0,0005486 а.е.м., а масса нейтрино (ν) пренебрежительно мала. Закон Гесса действует также для описания термоядерных реакций. $1 \text{ эВ} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.

d) Рассчитай, сколько энергии высвобождается при слиянии двух ${}^3_2\text{He}$ (**реакция 3**). (3)

$\Delta E = \dots\dots\dots \text{ МэВ}$

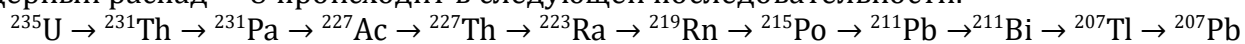
На Земле гелий накапливается в месторождениях природного газа, где он образуется в результате α -распада радиоактивных элементов. Состав природного газа следующий: 89,0% CH_4 , 5,0% C_2H_6 , 1,0% He , 0,5% C_3H_8 , 2,0% CO_2 и 2,5% N_2

e) Рассчитай, сколько кДж энергии выделится при сжигании всего природного газа из подземном месторождения размером 10^5 м^3 . Месторождение находится на глубине 5 км и под давлением 300 бар. Температурный градиент Земли $25 \text{ }^\circ\text{C}/\text{км}$. Средняя температура атмосферы $15 \text{ }^\circ\text{C}$. За энергию связи С–Н можно принять 413 кДж/моль, а за энергию связи С–С можно принять 347 кДж/моль, энергия связи Н–О в воде 461 кДж/моль, энергия связи С=О в CO_2 равна 745 кДж/моль и энергия связи O_2 равна 498 кДж/моль. (4)

--	--	--	--	--	--	--	--

$E = \dots\dots\dots$ кДж

Ядерный распад ^{235}U происходит в следующей последовательности:



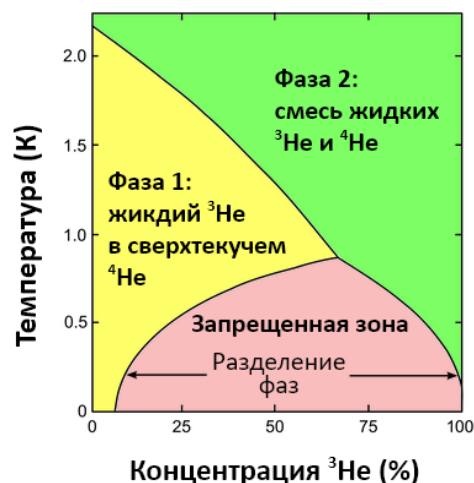
Масса ^{235}U равна 235,04393 а.е.м., масса ^{207}Pb равна 206,97590 а.е.м. и масса ^4He равна 4,00260 а.е.м.

- f) Рассчитай, сколько энергии (кДж) выделилось при ядерном распаде, в результате которого образовался весь гелий из газового месторождения (в пункта e). (3)

$E = \dots\dots\dots$ кДж

--	--	--	--	--	--	--	--

Гелий – это элемент с самой низкой температурой кипения. При этом ^3He и ^4He ведут себя по-разному. ^3He – это фермион, а ^4He – бозон, что обуславливает различие в свойствах, в том числе и разную температуру кипения. Из-за этого, жидкие ^4He и ^3He не смешиваются между собой при температуре ниже 0,9 К в произвольном соотношении, а образуют две отдельные фазы – обычную смесь $^3\text{He}/^4\text{He}$ и ^3He , растворенный в сверхтекучем ^4He .



- г) В каком соотношении образуются Фаза 1 и Фаза 2, если смесь ^3He и ^4He ($^3\text{He}:^4\text{He} = 1:1$) охлаждаются до температуры 0,5 К? (2)

Фаза 1:Фаза 2 = ...

Для работы квантового компьютера необходима низкая температура. Для достижения такой температур используют охладитель, в котором рабочей жидкостью является смесь ^3He и ^4He . Для этого между собой смешивают чистый ^3He и фазы смеси $^3\text{He} : ^4\text{He}$ (6,6 : 93,4). Если температура камеры выше абсолютного нуля, то ^3He из фазы чистого ^3He (Фаза 2) переходит в смешанную фазу (Фаза 1) и разбавляет ^4He .

Условие самопроизвольного протекания процесса является отрицательное значение изменения энергии Гиббса ($\Delta G < 0$), $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$, где ΔH – изменение энтальпии, т.е. теплоты реакции, а ΔS – изменение энтропии.

- h) На основании данного описания, определи знаки ΔH и ΔS для процесса разбавления. (1)

ΔH	ΔS
------------	------------

Эффективность охладителя описывает уравнение:

$$P = \nu(95T_m^2 - 11T_i^2),$$

где P – это мощность охлаждения (Вт), ν – молярная скорость циркуляции ^3He (моль с^{-1}), T_m – температура камеры охлаждения (К) и T_i – температура втекающего ^3He (К).

- i) Рассчитай, во сколько раз температура, которую максимально может достичь камера охлаждения, ниже, в сравнении с температурой втекающего ^3He . (1)

$N = \dots\dots\dots$