

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

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

9 класс

Гран-при: 6-ая задача

Аватар: Легенда об Аанге (20 р)



В мультипликационном мире Аватара при помощи магии управляют стихиями воды, земли, огня и воздуха. С научной точки зрения, маги могли бы манипулировать веществом на атомном уровне. Основы термодинамики говорят, что движение атомов можно разделить на хаотичное движение (тепло) и направленное движение (работа). Энергия направленного движения в ходе самопроизвольного процесса превращается в энергию хаотичного движения, описанную ростом энтропии.

а) Выбери правильное утверждение об энергии и энтропии: (1)

- ☐ Энергия не может быть создана или уничтожена; энтропия Вселенной увеличивается из-за самопроизвольных процессов.
- ☐ Энтропия не может быть создана или уничтожена; энергия Вселенной увеличивается из-за самопроизвольных процессов.
- ☐ Энергия не может быть создана или уничтожена; энтропия Вселенной постоянна.
- ☐ Энтропия не может быть создана или уничтожена; энергия Вселенной постоянна.

Горение – это процесс, в ходе которого топливо реагирует с помощью окислителя (кислорода) и выделяет много энергии. Таким образом, управление огнем предполагает наличие топлива в воздухе. Рассмотрим два варианта: (1) легковоспламеняющиеся соединения и (2) топливо, произведенное из компонентов воздуха. Мы предполагаем, что маг огня сжигает все летучие органические соединения. Основной их компонент – изопрен (C_5H_8), нижняя граница воспламенения для которого составляет около 2% по объему. Это означает, что, если концентрация изопрена в воздухе составляет 2% или выше, изопрен может быть подожжен.

б) Рассчитай, сколько m^3 воздуха (содержание изопрена 100 мкг/м^3) необходимо, чтобы получить достаточное количество изопрена для создания пламени $1 \text{ м} \times 1 \text{ м} \times 5 \text{ м}$ в нормальных условиях ($V_m = 22,4 \text{ дм}^3/\text{моль}$)? (1,5)

$V(\text{воздуха}) = \dots\dots\dots \text{ м}^3$

Очевидно, концентрация летучих органических соединений недостаточна для создания впечатляющих пламени. В то же время, в воздухе есть заметное количество воды. Давление пара воды при комнатной температуре составляет 0,023 атм. Нижняя граница воспламенения водорода составляет 4 объемных процента. Таким образом, для создания пламени 5 м^3 требуется не менее 9 м^3 воды, содержащейся в воздухе, которую маг огня разлагает на водород и зажигает. Для разложения одного моля воды на водород и кислород требуется 285,8 кДж. Энергию можно получить, например, из капусты. Предположим, что энергетическое содержание одного кочана капусты составляет 800 кДж.



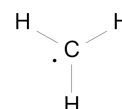
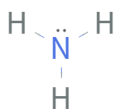
--	--	--	--	--	--	--	--

- с) Рассчитай, из скольких кочанов капусты необходимо получить энергию, чтобы произвести достаточное количество водорода для создания пламени $1 \text{ м} \times 1 \text{ м} \times 5 \text{ м}$ при комнатной температуре и атмосферном давлении 1 атм (в этих условиях $V_m = 24,4 \text{ дм}^3/\text{моль}$)? (1,5)

$N(\text{кочан капусты}) = \dots\dots\dots$

Остается загадкой, откуда маги огня берут столько энергии. Особенно сильные маги огня могут вызвать даже сине-белые языки пламени, для чего они должны еще больше повысить концентрацию водорода и очистить горящую реакционную смесь от примесей. Возгорание водорода – это радикальная реакция, состоящая из примерно 50 промежуточных реакций между несколькими радикалами. Радикал в химии – это атом, ион или молекула с одним или несколькими неспаренными валентными электронами (на внешнем электронном слое). Например, $\text{H}\cdot$ является монорадикалом, а $\cdot\text{O}\cdot$ – бирадикалом. Из-за неспаренных электронов радикалы, в большинстве случаев, чрезвычайно реакционноспособны.

В точечной структурах каждый свободный электрон валентного слоя показан в виде точки, каждая неподеленная электронная пара – в виде двух точек и каждая связанная электронная пара (ковалентная связь) – в виде черточки. Путем связывания электронов внешнего слоя (с образованием ковалентных связей) атомы стремятся к такому числу электронов внешнего слоя, которое соответствовало бы электронной структуре благородного газа (2 электрона для водорода и 8 электронов для элементов второго периода) или максимально приближено к нему. Также, во внешнем слое не может быть более 8 электронов. Например, точечные формулы молекул NH_3 и N_2 и монорадикала $\cdot\text{CH}_3$ следующие:



- d) Выбери радикалы из списка и нарисуй их точечные формулы: H_2O , H_2O_2 , HO_2 , $\text{OH}\cdot$. (1)

Промежуточные реакции подразделяются на несколько типов:

- (1) инициирование – в которых радикалы образуются из молекул
- (2) разветвление – в которых количество радикалов увеличивается
- (3) рекомбинация – в которых количество радикалов остается неизменным
- (4) обрыв – в которых количество радикалов уменьшается.

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

е) Закончи уравнения реакций. Отметь тип реакции (2)

тип	промежуточная реакция	тип	промежуточная реакция
	$H_2 + O_2 = OH + \dots\dots\dots$		$OH + \dots\dots\dots = H_2O_2$
	$O + H_2 = H + \dots\dots\dots$		$H + \dots\dots\dots = H_2O$
	$H_2 + OH = H + \dots\dots\dots$		$H + O_2 = O + \dots\dots\dots$
	$H_2 + O_2 = H + \dots\dots\dots$		$HO_2 + \dots\dots\dots = H_2O_2 + O_2$

Очевидно, все маги способны изменять движение молекул из хаотичного в направленное движение и наоборот. Возможно, при этом они нарушают законы термодинамики. Маги воздуха могут создавать потоки воздуха. Небесные бизоны - это большие травоядные животные, способные летать с помощью управления воздухом.

ф) Рассчитай, сколько кочанов капусты должен съесть небесный бизон весом $10\,000\text{ кг}$, чтобы получить достаточно энергии для взлета на высоту 10 метров ($g = 9,8\text{ Н/кг}$). (1)

$N(\text{кочан капусты}) = \dots\dots\dots$

Ветер возникает между областями с различным атмосферным давлением. Разница в атмосферном давлении может быть вызвана, например, колебаниями температуры воздуха. Маг воздуха может понижать атмосферное давление, изменяя состав воздуха. Состав сухого воздуха в молярных процентах составляет 78% N_2 , 21% O_2 и 1% Ar . Образование одного молекула N_2O_4 из азота и кислорода ($N_2 + 2O_2 \rightarrow N_2O_4$) требует лишь 9 кДж дополнительной энергии и, таким образом, является одним из самых легких способов изменения состава воздуха. Самостоятельно эта реакция не происходит, потому что химические связи в молекулах N_2 и O_2 очень крепкие, но маг воздуха способен переставить связи в молекулах воздуха.

г) В закрытом сосуде находится сухой воздух (при начальном давлении $P_{нач} = 1\text{ атм}$), компоненты которого маг воздуха заставляет реагировать, образуя диоксид азота. Рассчитай, какое будет соотношение компонентов в смеси после реакции и насколько снизится давление воздуха в сосуде в процессе реакции. Учти, что атмосферное давление пропорционально количеству молекул газа в единице объема, и реакция будет происходить до тех пор, пока не закончится исходное вещество, присутствующее в ограниченном количестве. (2)

$\Delta p = \dots\dots\dots\text{ атм}$

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

- h)** Нарисуй точечные структуры молекул и ионов, которые также могут возникнуть в результате магии воздуха в реакции $N_2 + O_2$: NO, NO₂, N₂O₅, NO⁺ и NO₃⁻ (N₂O₄ → NO+NO₃⁻) и N₂O (веселящий газ). (3)

--	--	--

NO

NO₂N₂O₅

--	--	--

NO⁺NO₃⁻

NNO

Маги воды используют замерзание воды для защиты и атаки.

- i)** Рассчитай, сколько тепловой энергии выделяется при замерзании 1000 кг воды (для создания одной ледяной стены), если при замерзании 1 моль воды выделяется 6 кДж. Дайте ответ в кочанах капусты, которые необходимы для получения этого количества энергии (т. е. в капустных эквивалентах). (1,5)

$N(\text{кочан капусты}) = \dots\dots\dots$

При замерзании выделяется очень много энергии, но для испарения при комнатной температуре требуется даже больше энергии.

- j)** Рассчитай для сравнения, сколько кг водяного пара может быть произведено из 400 капустных эквивалентов энергии. Теплоемкость воды составляет 4,18 кДж/ (кг·°C), а теплота испарения (энергия для испарения 1 кг) составляет 2260 кДж/кг. (1,5)

$m(\text{водяной пар}) = \dots\dots\dots \text{ кг}$

Управлять можно только элементами с малой атомной массой (от водорода до неона). Поэтому маги земли могут работать только с определенными минералами. Молярный состав земной коры, выраженный через содержание оксидов, выглядит следующим образом: 20% SiO₂, 10% Al₂O₃, 9% H₂O, 8% Na₂O, 6% CaO, 3% Fe₂O₃ и 1% MgO. Существует довольно мало минералов, которые не содержат элементов с малой атомной массой.

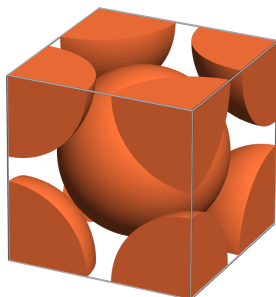
- k)** Какими минералами из списка (Au, FeS₂, CuFeS₂, NiAs, NaCl, Na₃AlF₆, Bi₂S₃, BN, KCl) можно управлять? (1)

--

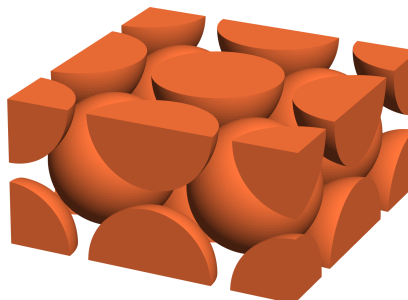
--	--	--	--	--	--	--	--

Некоторые маги земли также способны обуздать железо, так как сталь и чугун в небольшом количестве содержат углерод и кремний. Сталь содержит менее 2% углерода по массе, а чугун – более 2%. Атомы этих элементов могут располагаться в “дырках” кристаллической структуры железа, между атомами металла. В элементарной ячейке, приведенной снизу, “дырки” расположены на гранях ячейки. Элементарная ячейка представляет собой “вырез” кристаллической решётки (наименьший структурный элемент, повторением которого можно описать строение всего кристалла). Атомы железа расположены в центре и вершинах куба. Все в вершинах куба разделены поровну между соседними элементарными ячейками.

одна элементарная ячейка



четыре элементарных ячейки



- l) Рассчитай массовое содержание углерода в структуре, состоящей из четырех элементарных ячеек кристаллической решетки железа с одним атомом углерода в центре. Этот сплав – сталь или чугун? (2)

☐ сталь

☐ чугун

%(C) = ...

Представь себе, что ты можешь контролировать элементы с малой атомной массой.

- m) Какую бы магию ты придумал(-а)? Напиши хотя бы одну химическую реакцию, описывающую твой тип магии (который отличается от описанных выше)? Обоснуй свой выбор. (1)