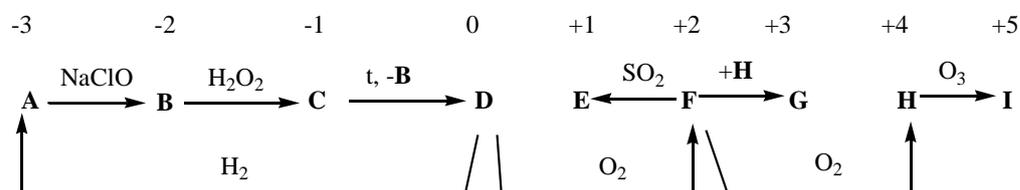


## Решения заданий муниципального этапа ВсОШ 2023-24, Липецкая область

### 9 класс

#### Задача 9-1. Необычная химия обычного элемента

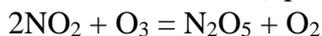
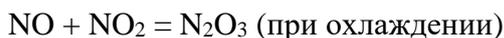
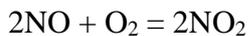
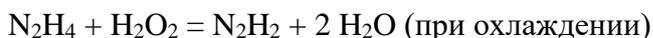
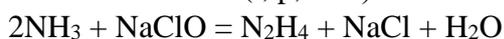
Элемент X – рекордсмен по количеству проявляемых им степеней окисления. На схеме показаны возможные степени окисления и пути перехода между ними.



1. Определите элемент X и расшифруйте вещества A-I, если известно, что все они, кроме одного, бинарные.

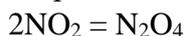
X проявляет степени окисления от -3 до +5, что характерно для подгруппы азота; при этом реакции простого вещества (D, степень окисления 0) указывают на сам азот. Тогда A – NH<sub>3</sub>, B – N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C – N<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, D – N<sub>2</sub>, E – N<sub>2</sub>O, F – NO, G – N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, H – NO<sub>2</sub> (допускается N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>), I – N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

2. Напишите уравнения реакций, показанных на схеме. Укажите условия их протекания (температура, давление, катализатор).



3. Вещество H способно к обратимой димеризации. Почему? Напишите уравнение реакции димеризации. Эндо- или экзотермической является эта реакция? В каком направлении сместится равновесие этой реакции при повышении температуры? А при повышении давления? Мотивируйте ваши ответы.

Молекула NO<sub>2</sub> обладает неспаренным электроном (является свободным радикалом). При спаривании этих электронов образуется новая химическая связь.



При образовании димера никакие химические связи не разрываются, но образуется новая связь, а образование химической связи – экзотермический процесс, поэтому реакция экзотермическая.

Так как реакция димеризации экзотермическая, повышение температуры смещает равновесие в сторону мономера.

В ходе реакции уменьшается число молекул, поэтому повышение давления смещает равновесие в сторону образования димера.

Система оценивания: П.1 – по 0,5 балла за элемент X и каждое из веществ А-I, всего 5 баллов.

П.2 9 уравнений реакций по 1 баллу, если там, где это необходимо, указаны условия (без условий за реакции, где они указаны в ключах, по 0,5 балла). Всего 9 баллов.

П.3. 1 балл – объяснение причины димеризации; 1 балл – уравнение реакции; 1 балл – знак теплового эффекта (без объяснения – 0 баллов), по 1 баллу за ответы на вопросы о смещении равновесия при повышении температуры и давления (без объяснения – 0 баллов). Всего 5 баллов.

Итого 19 баллов.

### Задача 9-2

#### Сульфидный минерал

Сульфидный минерал X с массовой долей серы 25,4% содержит также металлы А и В. Для проведения анализа навеску минерала X массой 4,032 г растворили в избытке концентрированной серной кислоты. Полученный раствор нейтрализовали и довели его объём дистиллированной водой до 100 мл. Получили раствор 1.

К 10 мл раствора 1 добавили избыток раствора иодида калия. Раствор помутнел и изменил цвет. Через 10 минут, когда реакция закончилась, раствор оттитровали раствором тиосульфата натрия ( $c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 0,2$  моль/л) с крахмалом в качестве индикатора. Синяя окраска исчезла после добавления 24,0 мл раствора тиосульфата.

В другую пробу раствора 1 объёмом 50 мл опустили магниевую пластинку. Через некоторое время пластинка покрылась тёмно-красным осадком металла В. Масса этого осадка после высушивания составила 1,28 г. При этом оставшийся после извлечения пластинки раствор способен обесцвечивать перманганат калия. К этому раствору добавили избыток гидрокарбоната натрия. Выпал осадок, масса которого после высушивания составила 0,464 г.

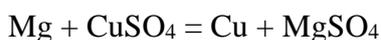
1. Определите металлы А, В и формулу X. Ответы подтвердите расчётами.

Цвет металла В указывает на то, что это медь. Металлы А и В в сумме составляют  $100 - 25,4 = 74,6\%$  от массы минерала. От массы навески 4,032 г это составит 3,008 г, а в 10 мл раствора 1 – 0,3008 г.

Допустим, что весь иод в реакции с иодидом калия образовался по реакции с ионами  $\text{Cu}^{2+}$ :  
 $2\text{CuSO}_4 + 4\text{KI} = 2\text{CuI} + \text{I}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4$

Тогда по реакции с тиосульфатом  $\text{I}_2 + 2\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = \text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6 + 2\text{NaI}$   $n(\text{I}_2) = 0,5n(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 0,5 \cdot 0,2 \cdot 0,024 = 0,0024$  моль;  $n(\text{Cu}^{2+}) = 2n(\text{I}_2) = 0,0048$  моль;  $m(\text{Cu}) = 0,305$  г, но это больше суммарной массы двух металлов (0,3008 г). Это означает, что сульфат металла А тоже окислял иодид калия. Но если он восстанавливается KI, то должен восстанавливаться и магнием, причём не до металла, а до катиона с более низкой степенью окисления (так как в реакции с магнием в осадок выпала медь).

Количество меди в 50 мл раствора 1 равно 1,28 г, тогда весь раствор 1 содержит 2,56 г или 0,04 моль меди.



Найдём массу А в навеске:  $m(A) = 4,032 - m(\text{Cu}) - m(\text{S}) = 4,032 - 2,56 - 1,024 = 0,448$  г, а в 10 мл раствора 1 0,0448 г.

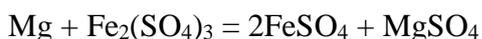
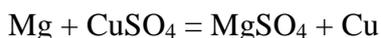
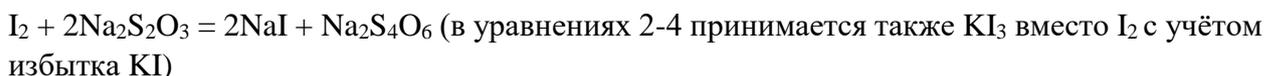
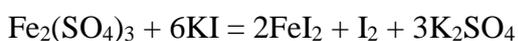
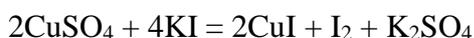
Теперь рассмотрим снова результат иодометрического титрования. Количество тиосульфата, прореагировавшего с иодом, образовавшимся по реакции с 0,004 моль меди (столько её было в 10 мл раствора 1),  $n(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 0,004$  моль, а с иодом, образовавшимся по реакции с А, прореагировало  $0,0048 - 0,004 = 0,0008$  моль  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ . Мольное соотношение между катионом А и тиосульфатом составит 1:1, если степень окисления металла повысилась на 1, в этом случае  $M(A) = 0,448 \text{ г} : 0,0008 \text{ моль} = 56 \text{ г/моль}$ , что соответствует железу.

Итак, если наши расчёты правильные, то в навеске было 0,04 моль меди, 0,008 моль железа и  $1,024:32 = 0,032$  моль серы. По этим данным можно вывести формулу X.

$$n(\text{Cu}):n(\text{Fe}):n(\text{S}) = 0,04:0,008:0,032 = 5:1:4; \text{X} - \text{Cu}_5\text{FeS}_4.$$

Последние две реакции из условия задачи позволяют подтвердить наличие в минерале железа. После реакции с магнием раствор должен содержать 0,004 моль  $\text{FeSO}_4$  (так как взяли 50 мл раствора 1). Тогда при действии гидрокарбоната натрия выпало 0,004 моль  $\text{FeCO}_3$ ;  $m(\text{FeCO}_3) = 0,464$  г. Но раствор содержит также сульфат магния в количестве 0,02 моль (из реакции восстановления меди) и 0,002 моль (из реакции восстановления железа, см. уравнения в п.2), всего 0,022 моль, из которого образуется 0,022 моль или 1,848 г карбоната магния, всего  $1,848 + 0,464 = 2,312$  г осадка, что совпадает с условием задачи.

2. Приведите уравнения описанных в задаче химических реакций (9 уравнений).



3. Осадок состоит из 0,004 моль  $\text{FeCO}_3$  и 0,022 моль  $\text{MgCO}_3$  (см. п.1, последний абзац).

Система оценивания: п.1 1 балл за металл В (можно без расчёта), 2 балла за металл А (с расчётом), 3 балла за вывод формулы X, всего 6 баллов.

П.2 9 уравнений по 1 баллу, всего 9 баллов.

П.3 По 1 баллу за указание на каждое из веществ в составе осадка, по 1 баллу за количества веществ в осадке, всего 4 балла.

Итого 19 баллов.

### Задача 9-3. Позитронно-эмиссионная томография

Позитронно-эмиссионная томография – активно развивающийся метод медицинской диагностики. Применяется, в частности, для диагностики онкологических заболеваний. Метод основан на регистрации квантов гамма-излучения, возникающих при аннигиляции позитронов с электронами. Позитрон – античастица, соответствующая электрону и отличающаяся от электрона положительным зарядом. Позитроны возникают при позитронном  $\beta$ -распаде (он же  $\beta^+$  - распад) радиоактивного ядра, входящего в состав радиофармпрепарата. Этот препарат вводится в организм перед исследованием. Аннигиляция позитрона в веществе (в частности, в ткани организма) с одним из электронов среды порождает два гамма-кванта с одинаковой энергией, разлетающихся в противоположные стороны по одной прямой. Большой набор детекторов, расположенных вокруг исследуемого объекта, и компьютерная обработка сигналов с них позволяют выполнить трёхмерную реконструкцию распределения радионуклида в сканируемом объекте.

Самый распространённый радиофармпрепарат, применяемый в этом методе, - глюкоза, в которой одна из групп –ОН замещена на радиоактивный изотоп  $^{18}\text{F}$ .

1. Напишите уравнение реакции радиоактивного распада  $^{18}\text{F}$ .

$^{18}_9\text{F} = ^{18}_8\text{O} + e^+$  или другие аналогичные по смыслу формы записи, но обязательно с указанием массовых чисел  $^{18}\text{F}$  и  $^{18}\text{O}$ .

Единица измерения активности (А) радиоактивного источника в СИ – Беккерель (Бк). 1 Бк – активность источника, в котором происходит 1 распад за 1 секунду. Таким образом, через основные единицы СИ Бк выражается как  $\text{с}^{-1}$ .

Пациентам вводят модифицированную глюкозу внутривенно в виде раствора в количестве, соответствующем активности в пределах от 200 до 400 МБк. Этого достаточно для проведения исследования без вреда для здоровья пациента. Активность (в Бк) связана с количеством вещества формулой  $A = 0,69N : \tau_{1/2}$ , где N – число атомов радиоактивного изотопа;  $\tau_{1/2}$  – период полураспада этого изотопа, то есть время, за которое распадается половина его атомов.

2. Рассчитайте, в каких пределах должна находиться концентрация (моль/л) раствора модифицированной глюкозы, если для исследования пациенту вводят 0,1 мл этого раствора, а период полураспада  $^{18}\text{F}$  составляет 110 мин.

$$N = \tau_{1/2}A / 0,69; c = n/V = N/VN_a. \text{ Отсюда } c = \tau_{1/2}A / 0,69VN_a.$$

Подставляя числовые значения (время полураспада в секундах, так как в условии сказано, что  $[A]=\text{с}^{-1}$ ), получим:

$$c_1 = 6600 \text{ с} * 200 * 10^6 \text{ с}^{-1} / (0,69 * 0,1 * 10^{-3} \text{ л} * 6,02 * 10^{23} \text{ моль}^{-1}) = 3,18 * 10^{-8} \text{ моль/л}$$

$$c_2 = 6600 \text{ с} * 400 * 10^6 \text{ с}^{-1} / (0,69 * 0,1 * 10^{-3} \text{ л} * 6,02 * 10^{23} \text{ моль}^{-1}) = 6,36 * 10^{-8} \text{ моль/л}$$

3. В каких пределах будет находиться радиоактивность этого образца через сутки? Какому интервалу концентраций соответствует такая активность?

В сутках  $24 * 60 / 110 = 13,1$  периодов полураспада. За каждый период полураспада активность сокращается вдвое, следовательно, за сутки она уменьшится в  $2^{13,1} = 8780$  раз и составит от  $200 * 10^6 : 8780 = 22,8$  кБк до  $400 * 10^6 : 8780 = 45,6$  кБк. Принимается как верный

также расчёт с округлением до 13 периодов полураспада, который даст активность от 24,4 до 48,8 кБк.

Концентрация радионуклида уменьшится во столько же раз, во сколько и активность, и составит от  $3,62 \cdot 10^{-12}$  до  $7,24 \cdot 10^{-12}$  моль/л (или для 13 периодов полураспада от  $3,88 \cdot 10^{-12}$  до  $7,76 \cdot 10^{-12}$  моль/л)

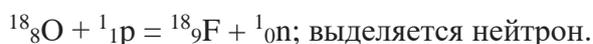
Изотоп  $^{18}\text{F}$  впервые был получен в 1937 году при облучении  $^{20}\text{Ne}$  ускоренными ядрами дейтерия.

4. Какая частица образуется в качестве второго продукта этой реакции? Запишите её уравнение.



В настоящее время  $^{18}\text{F}$  получают, облучая обогащённую изотопом  $^{18}\text{O}$  воду ускоренными протонами.

5. А какая частица выделяется в ходе этой реакции? Напишите её уравнение.



6. Для чего в ядерных реакциях подобного типа частицы, вступающие в реакцию, необходимо ускорять?

Для преодоления электростатического отталкивания одноимённо заряженных частиц.

7. Сколько протонов и нейтронов содержит ядро продукта распада  $^{18}\text{F}$ ?

$^{18}_8\text{O}$  8 протонов, 10 нейтронов.

Система оценивания:

П.1 1 балл

П.2 1 балл за правильную расчётную формулу, по 1 баллу за правильные значения концентрации, всего 3 балла.

П.3. По 1 баллу за каждое значение активности, по 1 баллу за каждое значение концентрации, всего 4 балла.

П.4 1 балл за уравнение, 1 балл за  $\alpha$ -частицу, всего 2 балла.

П.5 1 балл за уравнение, 1 балл за нейтрон, всего 2 балла.

П.6 1 балл.

П.7 По 1 баллу за число протонов и число нейтронов, всего 2 балла.

Итого 15 баллов.

Задача 9-4 Чем будем топить?

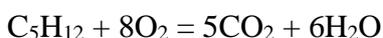
Несмотря на все попытки перехода на альтернативные источники энергии, основным видом используемого человечеством топлива продолжает оставаться углеводородное, получаемое переработкой нефти. Различные фракции переработки нефти различаются по плотности, вязкости, температуре кипения и теплотворной способности. Ниже приведены таблицы с данными, характеризующими 3 фракции нефтепереработки – петролейный эфир, бензин и дизельное топливо, а также возможные продукты их сгорания и реакций переработки продуктов сгорания.

Фракция	Петролейный эфир	Бензин	Дизельное топливо
---------	------------------	--------	-------------------

Основной компонент	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>
Плотность, г/см <sup>3</sup>	0,626	0,692	0,730
Теплота образования, кДж/моль	146,9	223,8	241,0

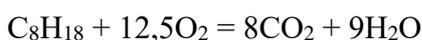
Вещество	CO <sub>2</sub> (г.)	H <sub>2</sub> O(г.)	CO(г.)
Теплота образования, кДж/моль	393,5	241,8	110,5

1. Напишите уравнения реакций сгорания указанных компонентов углеводородного топлива при избытке кислорода. Рассчитайте теплоты сгорания этих веществ (кДж/моль) и теплотворную способность каждого из них (кДж/мл).



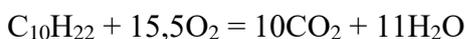
В соответствии со следствием из закона Гесса,  $Q = 5Q(\text{CO}_2) + 6Q(\text{H}_2\text{O}) - Q(\text{C}_5\text{H}_{12}) = 5 \cdot 393,5 + 6 \cdot 241,8 - 146,9 = 3271,4$  кДж/моль.

Если считать на 1 мл пентана, то  $n(\text{C}_5\text{H}_{12}) = m/M = \rho V/M = 0,626 \cdot 1/72 = 0,00869$  моль;  
 $Q = 0,00869 \cdot 3271,4 = 28,4$  кДж/мл.



$Q = 8Q(\text{CO}_2) + 9Q(\text{H}_2\text{O}) - Q(\text{C}_8\text{H}_{18}) = 8 \cdot 393,5 + 9 \cdot 241,8 - 223,8 = 5100,4$  кДж/моль.

На 1 мл октана:  $n(\text{C}_8\text{H}_{18}) = 0,692 \cdot 1/114 = 0,00607$  моль;  
 $Q = 0,00607 \cdot 5100,4 = 31,0$  кДж/мл.



$Q = 10Q(\text{CO}_2) + 11Q(\text{H}_2\text{O}) - Q(\text{C}_{10}\text{H}_{22}) = 10 \cdot 393,5 + 11 \cdot 241,8 - 241,0 = 6353,8$  кДж/моль.

На 1 мл декана:  $n(\text{C}_{10}\text{H}_{22}) = 0,730 \cdot 1/142 = 0,00514$  моль;  
 $Q = 0,00514 \cdot 6353,8 = 32,7$  кДж/мл.

Принимаются также расчёты с использованием энтальпий  $\Delta H$ . В этом случае результаты будут иметь противоположный знак.

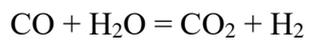
Уравнения с целыми коэффициентами перед кислородом (удвоенные) принимаются, но в таком случае тепловые эффекты должны быть пересчитаны на 1 моль углеводорода (разделены на 2, если перед формулой углеводорода коэффициент 2, так как спрашивается теплота сгорания в кДж/моль).

2. В условиях работы автомобильных двигателей топливо сгорает с образованием некоторого количества ядовитого угарного газа, объёмная доля которого в выхлопных газах может составлять от 2 до 5%. Чтобы угарный газ не попадал в атмосферу, в выхлопной трубе устанавливают катализатор, содержащий палладий и родий. Этот катализатор ускоряет реакцию окисления угарного газа, а также реакцию угарного газа с водяным паром, в которых не образуется токсичных продуктов.

Напишите уравнения этих реакций и рассчитайте их тепловые эффекты.



$Q = 2Q(\text{CO}_2) - 2Q(\text{CO}) = 2 \cdot 393,5 - 2 \cdot 110,5 = 566$  кДж (или  $\text{CO} + 0,5\text{O}_2 = \text{CO}_2$  и 283 кДж)



$$Q = Q(\text{CO}_2) - Q(\text{CO}) - Q(\text{H}_2\text{O}) = 393,5 - 110,5 - 241,8 = 41,2 \text{ кДж.}$$

Система оценивания

1. По 1 баллу за каждое из 3 уравнений.

По 1 баллу за каждую из 3 теплот сгорания и за каждую из 3 теплотворных способностей.

Всего 9 баллов.

Если расчёт проводился по правильным уравнениям, но допущена арифметическая ошибка, то за данный расчёт 0,5 балла. Если методика расчёта неправильная, то 0 баллов.

2. По 1 баллу за уравнения, по 1 баллу за тепловые эффекты. Всего 4 балла.

Итого 13 баллов.