

## КРИТЕРИИ

### Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников по химии 2023-2024 10 класс ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ТУР (максимально 50 баллов)

#### Задача 10-1. Химическое равновесие (6 баллов)

До начала реакции синтеза аммиака давление в закрытом сосуде было 110 бар. Чему будет равно давление к моменту наступления равновесия реакции, протекающей при постоянной температуре, если начальные концентрации азота и водорода в смеси равны соответственно 1 и 7 моль/л, а равновесие наступило, когда прореагировало 20 % азота.

##### Решение:

- 1) Уравнение реакции:  $N_2 + 3H_2 = 2NH_3$
- 2) Расчет изменения давления

К моменту наступления равновесия прореагировало 20%  $N_2$ , или 0,2 моль  $N_2$ . По уравнению определяем, что прореагировало 0,6 моль  $H_2$ , всего вступило в реакцию 0,8 моль газов. По уравнению реакции 4 объема газа до реакции образуют 2 объема после реакции, то есть на 0,8 моль вступивших в реакцию газов 0,4 моль образовалось после реакции.

Таким образом, в смеси осталось:  $1 + 7 - 0,8 + 0,4 = 7,6$  (моль/л) газов. Объем реакционной смеси к моменту равновесия составляет  $7,6 / 8,0 = 0,95$  (95%) от исходного, следовательно, и давление к моменту равновесия уменьшилось и составляет от 0,95 (95%) исходного.

- 3) Расчет давления в сосуде после наступления равновесия:

$$110 \text{ бар} \cdot 0,95 = 104,5 \text{ кПа}$$

Справочные сведения: 1 бар = 100 000 Па

##### Система оценивания:

1.	Написано уравнение реакции	1 балл
2.	Рассчитано изменение давления	4 балла
3.	Рассчитано давление в сосуде после наступления равновесия	1 балл
	Всего	6 баллов

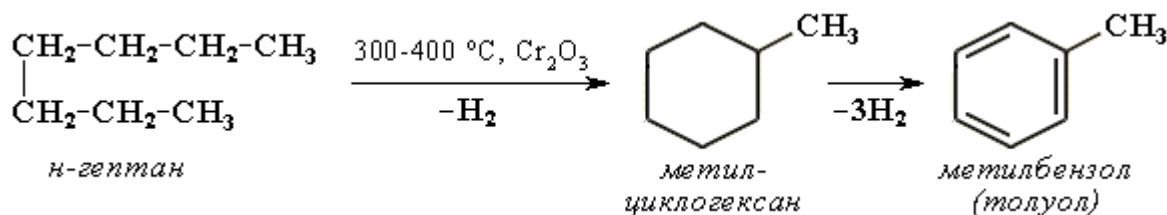
#### Задача 10-2. Получение толуола (6 баллов)

Толуол образуется в результате реакции циклизации и дегидрирования из *n*-гептана. Какая масса *n*-гептана вступает в реакцию, если при сгорании водорода, образующегося в результате реакции, выделяется 484 кДж теплоты. Реакция горения происходит с образованием жидкой воды.

$Q_{\text{обр}} H_2O_{\text{ж}} = 242 \text{ кДж/моль}$ . Реакции идут с количественным выходом.

##### Решение:

1. При циклизации и дегидрировании *n*-гептана протекают реакции



2) Количество вещества водорода,  $\nu(\text{H}_2\text{O}_{\text{ж}}) = \nu(\text{H}_2) = 484 / 242 = 2$  моль.

3) По уравнениям на 1 моль *n*-гептана выделяется суммарно 4 моль водорода. Значит, для получения 2 моль водорода в реакциях участвовало 0,5 моль *n*-гептана

$$m(\text{C}_7\text{H}_{16}) = 0,5 \cdot M(\text{C}_7\text{H}_{16}) = 0,5 \cdot 100 = 50 \text{ (г)}.$$

**Система оценивания:**

1.	Написаны уравнения реакций	2 балла
2.	Рассчитано количество водорода	2 балла
3.	Рассчитана масса <i>n</i> -гептана	2 балл
	Всего	6 баллов

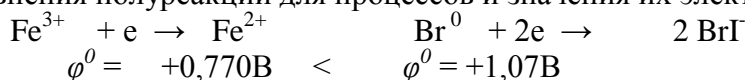
**Задача 10-3. ОВР (4 балла)**

Если к растворам иодида калия KI и бромид калия KBr прилить раствор треххлористого железа  $\text{FeCl}_3$ , то из двух практически одинаковых реакций одна протекает при обычных условиях, а другая – нет. По оценке электродвижущей силы (ЭДС) процессов объясните, какая реакция протекает при обычных условиях. Составьте уравнение реакции, которая протекает самопроизвольно, расставьте в уравнении коэффициенты, определите ионы-окислители и ионы-восстановители.

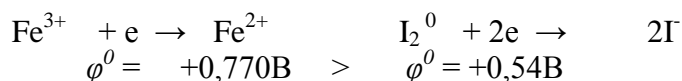
Окисленная форма	Восстановленная форма	$\varphi^0$ , В
$\text{Fe}^{3+}$	$\text{Fe}^{2+}$	+0,770
$\text{I}_2$	$2\text{I}^-$	+0,540
$\text{Br}_2$	$2\text{Br}^-$	+1,07

**Решение:**

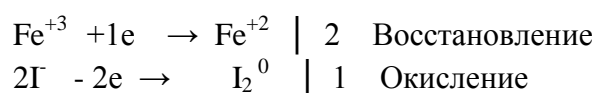
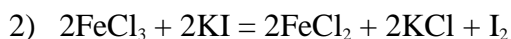
1) Уравнения полуреакций для процессов и значения их электродных потенциалов:



В этом случае окислителем будет бром, а ион железа (II) – восстановителем. Значит, такой процесс невозможен и реакция идет в обратном направлении.



Окислителем будут ион железа (III), а ион иода восстановителем. Такой процесс возможен.



**Система оценивания:**

1.	Определено направление реакции	2 балла
2.	Составлено уравнение реакции и составлен электронный баланс	2 балла
	Всего	4 балла

**Задача 10-4. Термическое разложение соли (7 баллов).**

При термическом разложении соли **А** (**реакция 1**) образуются 2 оксида **Б** – твердый зеленого цвета и жидкий (или пары этого вещества), а также простое вещество **С**. Оксид **Б** вступает в реакцию замещения с серебристо-белым металлом **Д** (при нагревании до 800°C), которая сопровождается выделением теплоты (**реакция 2**). При нагревании вещество **С** вступает в реакцию с некоторыми металлами с образованием бинарных соединений.

- 1) Определите формулы веществ и запишите названия веществ **А**, **Б** и **Д**
- 2) Приведите уравнения реакций 1 и 2
- 3) Определите неизвестный двухвалентный металл, если его массовая доля в этом бинарном соединении с веществом **С** составляет 72,2%.

**Решение:**

- 1) Названия и формулы веществ  
**А** -  $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  - дихромат аммония,  
**Б**  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  - оксид хрома (III)  
**Д** - **Al** алюминий
- 2) 2 уравнения реакций  

$$(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \rightarrow \text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{N}_2 + 4\text{H}_2\text{O}.$$

$$\text{Cr}_2\text{O}_3 + 2\text{Al} \xrightarrow{t^\circ\text{C}} 2\text{Cr} + \text{Al}_2\text{O}_3$$
- 3) Неизвестный металл магний (**Mg**)  
 Вычисление молярной массы металла

**Система оценивания:**

1.	Приведены названия и формулы веществ	3 балла
2.	Составлены 2 уравнения химических реакций по 1 баллу	2 балла
3.	Рассчитана молярная масса металла, и определено, какой это металл	2 балла
	Всего	7 баллов

**Задача 10-5. Раствор гидроксида натрия (6 баллов)**

К 500 г 5%-ного водного раствора гидроксида натрия добавили 138 г оксида натрия. Вычислите массовую долю вещества в полученном растворе.

**Решение:**

- 1)  $\text{Na}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} = 2\text{NaOH}$   
 В исходном растворе  
 $m_1(\text{NaOH}) = \omega(\text{NaOH}) \cdot m(\text{раствора}) = 500 \cdot 0,05 = 25 \text{ (г)}$   

$$v(\text{Na}_2\text{O}) = \frac{138 \text{ г}}{62 \text{ г/моль}} = 2,226 \text{ моль}$$
  

$$v(\text{Na}_2\text{O}) = 2 v(\text{NaOH}) = 2 \cdot 2,226 = 4,452 \text{ моль}$$
  

$$m_2(\text{NaOH}) = v(\text{NaOH}) \cdot M(\text{NaOH}) = 4,452 \cdot 40 = 178 \text{ (г)}$$
  
 После реакции  

$$m_3(\text{NaOH}) = m_1(\text{NaOH}) + m_2(\text{NaOH}) = 25 + 178 = 203 \text{ (г)}$$
  

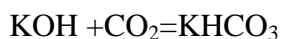
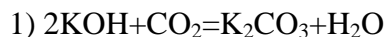
$$m_2(\text{раствора}) = m_1(\text{раствора}) + m(\text{Na}_2\text{O}) = 500 + 138 = 638 \text{ (г)}$$
- 2)  $\omega(\text{NaOH}) = m_3(\text{NaOH}) / m_2(\text{раствора}) = 0,0318 \text{ (31,8\%)}$

**Система оценивания:**

1.	Написано уравнение химической реакции	1 балл
2.	Рассчитан состав полученного раствора	5 баллов
	Всего	6 баллов

**Задача 10-6. Смесь газов (10 баллов).**

Смесь углекислого газа, угарного газа и аргона массой 10 г при комнатной температуре пропустили через раствор КОН, при этом образовалось 2,07 г средней и 6 г кислой соли. Если же предварительно провести окисление этой смеси кислородом при комнатной температуре в присутствии катализатора ( $\text{MnO}_2$  и  $\text{CuO}$ ), то при пропускании ее через раствор гидроксида калия образуется 4,83 г  $\text{K}_2\text{CO}_3$  и 14 г  $\text{KHCO}_3$ . Найдите массовые доли и молярные доли углекислого и угарного газов в исходной смеси?

**Решение:**

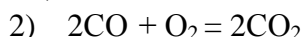
2) без окисления

$$v(\text{KHCO}_3) = 6 / 100 = 0,06 \text{ моль} \rightarrow v(\text{CO}_2) = 0,06 \text{ моль}$$

$$v(\text{K}_2\text{CO}_3) = 2,07 \text{ г} / 138 = 0,015 \text{ моль} \rightarrow v(\text{CO}_2) = 0,015 \text{ моль}$$

$$m(\text{CO}_2) = v(\text{CO}_2) \cdot M(\text{CO}_2) = (0,06 + 0,015) \cdot 44 = 0,075 \cdot 44 = 3,3 \text{ г}$$

$$\omega(\text{CO}_2) = m(\text{CO}_2) / m(\text{смеси}) = 3,3 / 10 = 0,33 (33\%)$$



после окисления

$$v(\text{KHCO}_3) = 14 / 100 = 0,14 \text{ моль} \rightarrow v(\text{CO}_2) = 0,14 \text{ моль}$$

$$v(\text{K}_2\text{CO}_3) = 4,83 \text{ г} / 138 = 0,035 \text{ моль} \rightarrow v(\text{CO}_2) = 0,035 \text{ моль}$$

$$v(\text{CO}_2) = 0,14 + 0,035 = 0,175 \text{ моль}$$

$$\Delta v(\text{CO}_2) = 0,175 - 0,075 = 0,1 \text{ моль} \rightarrow v(\text{CO}) = 0,1 \text{ моль}$$

$$m(\text{CO}) = v(\text{CO}) \cdot M(\text{CO}) = 0,1 \cdot 28 = 2,8 \text{ г}$$

$$\omega(\text{CO}) = m(\text{CO}) / m(\text{смеси}) = 2,8 / 10 = 0,28 (28\%)$$

3)  $m(\text{Ar}) = 10 - 2,8 - 3,3 = 3,9 \text{ г}$

$$v(\text{Ar}) = m(\text{Ar}) / M(\text{Ar}) = 3,9 / 40 = 0,098 \text{ моль}$$

$$\chi(\text{CO}_2) = 0,075 / (0,075 + 0,1 + 0,098) = 0,075 / 0,273 = 0,275 (27,5\%)$$

$$\chi(\text{CO}) = 0,1 / (0,075 + 0,1 + 0,098) = 0,1 / 0,273 = 0,367 (36,7\%)$$

**Система оценивания:**

1.	Составлены 2 уравнения химических реакций по 1 баллу	1 балла
2.	Рассчитана массовая доля углекислого газа	3 балла
3.	Рассчитана массовая доля угарного газа	3 балла
	Найдены молярные доли углекислого и угарного газов	3 балла
	Всего	10 баллов

**Задача 10-7. Карналлит (11 баллов)**

Карналлит – природный минерал, кристаллогидрат соли  $\text{KMgCl}_3$ , бесцветный или белый в чистом виде, за счет механических примесей природных оксидов и гидроксидов железа может быть окрашен в розовый, красный или бурый цвет. 200 г этого минерала растворили в 3 л воды и отделили от раствора механические примеси, содержание которых составляло менее 1%. Через полученный раствор пропустили электрический ток до прекращения образования белого осадка. При этом объемы газа выделившегося на аноде и катоде равны. Осадок отфильтровали и прокалили при 500 °С до прекращения изменения массы, которая составила 28,73 г.

1) Приведите химический состав минерала карналлита.

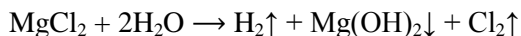
2) Рассчитайте массовую долю нерастворимых примесей соединений железа в минерале.

3) Найдите объем газа, выделившегося на катоде (процесс происходил при нормальных условиях) и массовую долю вещества в фильтрате.

**Решение:**

$M(\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2) = 169,76 \text{ г/моль}$ ,  $M(\text{MgCl}_2) = 95,21 \text{ г/моль}$ ,  $M(\text{MgO}) = 40,30 \text{ г/моль}$ ,  
 $(\text{OH})_2 = 58,32 \text{ г/моль}$

1) Электролиз раствора хлорида магния происходит по уравнению:

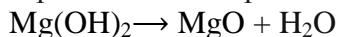


При электролизе хлорида калия происходят процессы:



В фильтрате после отделения гидроксида магния содержится KOH

2) Гидроксид магния разлагается при нагревании до  $480^\circ\text{C}$ :



$$n(\text{MgO}) = 28,73 / 40,30 = 0,713 \text{ моль}$$

$$n(\text{MgCl}_2) = n(\text{Mg}(\text{OH})_2) = n(\text{MgO}) = 0,713 \text{ моль}$$

$$m(\text{MgCl}_2) = M(\text{MgCl}_2) \cdot n(\text{MgCl}_2) = 95,21 \text{ г/моль} \cdot 0,713 \text{ моль} =$$

$$n(\text{MgCl}_2) = n(\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2) = n(\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot x \text{ H}_2\text{O}) = 0,713 \text{ моль}$$

Масса безводной соли:

$$m(\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2) = 169,76 \text{ г/моль} \cdot 0,713 \text{ моль} = 121,03 \text{ г}$$

Найдем массу воды и примесей в кристаллогидрате:

$$m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{примесей}) = 200 - 121,03 \text{ г} = 78,97$$

$$18 \cdot 0,713 \text{ моль} \cdot x + m(\text{примесей}) = 78,97$$

Так как масса примесей не превышает 1%, то  $x = 6$ ,

значит химический состав минерала карналлита



Масса кристаллогидрата:

$$m(\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6 \text{ H}_2\text{O}) = 277,85 \text{ г/моль} \cdot 0,713 \text{ моль} = 198,11 \text{ г}$$

Найдем массу воды и примесей в кристаллогидрате:

$$m(\text{примесей}) = 200 - 198,11 = 1,89 \text{ г}$$

$$\omega(\text{примесей}) = (1,89 / 200) \cdot 100\% = 0,95 \%$$

$$m_1(\text{H}_2\text{O}) = 200 - 121,03 \text{ г} - 1,89 \text{ г} = 77,08 \text{ г}$$

3) так как водород выделяется при электролизе в обоих процессах то

$$n(\text{H}_2) = 1,5 \text{ моль} \cdot n(\text{MgCl}_2)$$

$$V(\text{H}_2) = 1,5 \cdot 0,713 \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 23,96 \text{ л}$$

4) масса раствора минерала после отделения нерастворимых примесей:

$$m_1(\text{раствора}) = 3000 + 198,11 - 3198,11 \text{ г}$$

5) масса фильтрата после электролиза и отделения осадка гидроксида магния:

$$m(\text{фильтрата}) = m_1(\text{раствора}) - m(\text{Mg}(\text{OH})_2) - m(\text{H}_2) - m(\text{MgCl}_2) = 3198,11 - 0,713 \cdot 58,32 - 1,5 \cdot 0,713 \cdot 2 - 1,5 \cdot 0,713 \cdot 71 = 3198,11 - 41,58 - 2,14 - 75,93 = 3069,46 \text{ г}$$

$$m(\text{KOH}) = 0,713 \cdot 56,11 = 40,01 \text{ г}$$

$$\omega(\text{KOH}) = (40,01 / 3069,46) \cdot 100\% = 1,3\%$$

**Система оценивания:**

1.	Определен химический состав минерала	3 балла
2.	Рассчитана массовая примесей к минерале	3 балла
3.	Рассчитан объем водорода	2 балла
4.	Рассчитана массовая доля гидроксида калия в фильтрате	3 балла
	Всего	11 баллов