

**Межрегиональная олимпиада школьников**  
**«Будущие исследователи – будущее науки»**  
2021-2022уч.г.

*г.Саров, Нижегородская область*

**Химия**

**Решения заданий финального тура**

**11 класс**

**Задание 1**

1.  $K_x = \frac{x_{NH_3}^2}{x_{N_2}x_{H_2}^3}$

2. В данном случае при нагревании константа равновесия уменьшается, т.е. равновесие смещается в сторону реагентов. Согласно принципу Ле Шателье это означает, что реакция идет с выделением теплоты.

3. Пусть в реакцию вступило  $a$  моль  $N_2$ , тогда прореагировало  $3a$  моль  $H_2$  и образовалось  $2a$  моль  $NH_3$ . Общее количество вещества после реакции:

$$n(N_2) + n(H_2) + n(NH_3) = (1-a) + (3-3a) + 2a = 4-2a.$$

Запишем выражение для константы равновесия  $K_x$  через мольные доли:

$$K_x = \frac{\left(\frac{2a}{4-2a}\right)^2}{\left(\frac{1-a}{4-2a}\right)\left(\frac{3-3a}{4-2a}\right)^3} = 1$$

или

$$\frac{(2a)^2(4-2a)^2}{(1-a)(3-3a)^3} = 1$$

Из данного уравнения следует, что  $a = 0.34$ , тогда  $n(NH_3) = 2 \cdot 0.34 = 0.68$  моль.

4. Рассчитаем мольные доли веществ после добавления азота и составим из них величину  $Q$ :

$$x_{N_2} = \frac{0.65 + 0.25}{1.25} = 0.72,$$

$$x_{H_2} = \frac{0.25}{1.25} = 0.2,$$

$$x_{NH_3} = 1 - 0.72 - 0.2 = 0.08.$$

$$Q = \frac{0.08^2}{0.72 \cdot 0.2^3} = 1.11$$

Это значение превышает значение константы равновесия:

$$K_x = \frac{(0.1)^2}{(0.65)(0.25)^3} = 0.99$$

Это означает, что продукта реакции больше, чем необходимо в равновесной смеси, следовательно, для достижения равновесия должна пойти обратная реакция. Таким образом, в данном случае добавление реагента приводит к смещению равновесия влево. Это противоречит традиционной формулировке принципа Ле Шателье (но не самому принципу). Кажущееся противоречие объясняется тем, что количество азота в исходной смеси сильно превышает стехиометрическое, поэтому дальнейшее добавление азота термодинамически невыгодно.

#### **Примечание:**

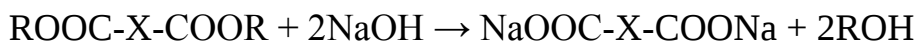
1. За выражение константы равновесия – 3 балла.
2. За объяснение вопроса (2) – 3 балла (без объяснения – 1 балл)
3. За расчет количества вещества аммиака – 5 баллов (за выражение константы равновесия – 3 балла).
4. За объяснение вопроса (4) – 7 баллов.

**Итого: 18 баллов**

#### **Задание 2**

1. Для реакции с диэфиром потребовалось  $30 - 6 = 24$  мл 1М раствора гидроксида натрия, т.е. 0.024 моль.

Уравнение щелочного гидролиза имеет вид:



Тогда количество диэфира:  $n = 0.024/2 = 0.012$  моль, а его молярная масса  $M(A) = 2.81/0.012 = 234.16 \approx 234$  г/моль.

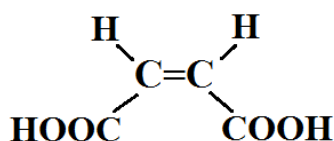
2. Оценивая продукты гидролиза можно предположить, что диэфир содержит сложноэфирную группу  $-\text{COOCH}_3$ , другую сложноэфирную группу  $-\text{COOR}$ , содержащую бензольное кольцо, и двойную связь  $\text{CH}=\text{CH}$ . С учетом оптической

активности спирта **С**, который образуется при гидролизе, единственно возможная формула диэфира **А**:

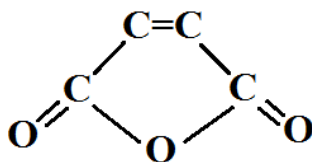


(брутто-формула  $\text{C}_{13}\text{H}_{14}\text{O}_4$ ). При гидролизе образуются метанол  $\text{CH}_3\text{OH}$ , дикарбоновая кислота  $\text{HOOC}-\text{CH}=\text{CH}-\text{COOH}$  и 1-фенилэтанол  $\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}_3$  (вещество **С**).

Непредельная кислота **В** при дегидратации образует циклический ангидрид, следовательно вещество **В**-это *цис*-изомер:



Структурная формула **D**:

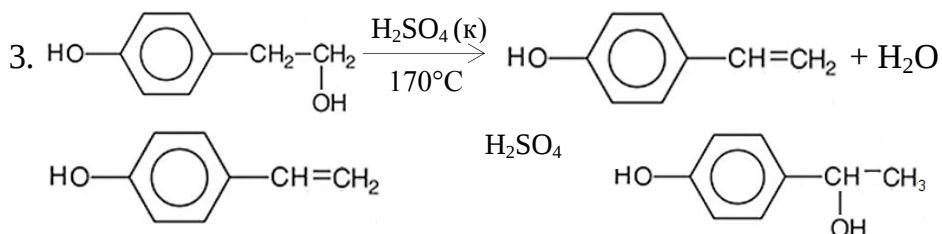
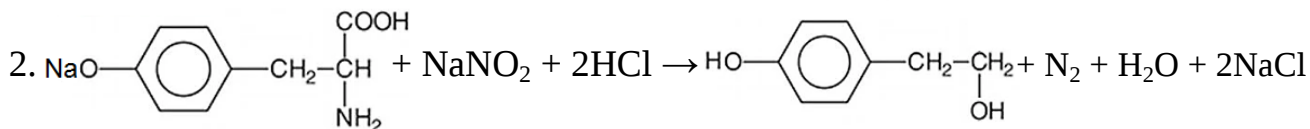
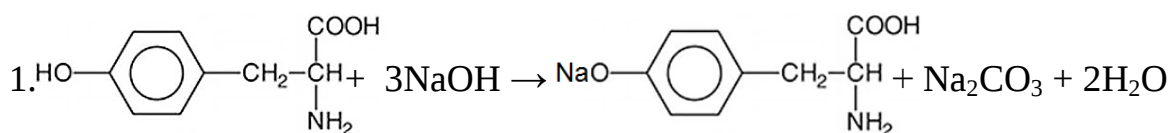


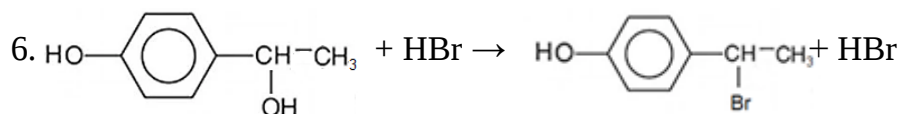
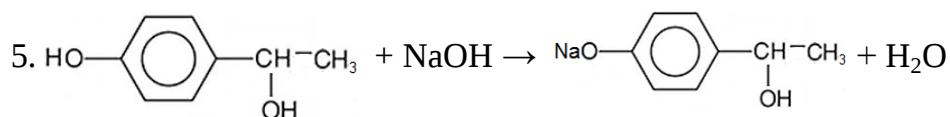
### Примечание:

1. За определение молярной массы диэфира – 4 балла.
2. За установление структурных веществ **А**, **В**, **С**, **D** – 16 баллов (4 балла за каждое)

**Итого: 20 баллов**

### Задание 3





**Примечание:**

За составление уравнений 1-6 - 30 баллов (по 5 баллов за каждое уравнение)

**Итого: 30 баллов**

**Задание 4**

1. Рассчитаем количества веществ:

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 89.3 \cdot 1.4 \cdot 0.392 / 98 = 0.5 \text{ моль}$$

$$n(\text{Cr(OH)}_3) = 20.6 / 103 = 0.2 \text{ моль}$$

$$n(\text{BaS}) = 225 \cdot 0.3385 / 169 = 0.45 \text{ моль.}$$

2. При решении задач следует учесть, что сульфид хрома в водном растворе полностью гидролизуется. Используем следующие обозначения: б – было, п – прореагировало, о – осталось.

3.

|   |                          |   |                    |               |                              |   |                       |
|---|--------------------------|---|--------------------|---------------|------------------------------|---|-----------------------|
|   | $3\text{H}_2\text{SO}_4$ | + | $2\text{Cr(OH)}_3$ | $\rightarrow$ | $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ | + | $6\text{H}_2\text{O}$ |
| Б | 0.5                      |   | 0.2                |               |                              |   |                       |
| П | 0.3                      |   | 0.2                |               |                              |   |                       |
| О | 0.2                      |   | –                  |               | 0.1                          |   | 0.6                   |

4. Далее возможно два пути решения.

*Первый:*

|   |              |   |                         |               |                      |   |                 |
|---|--------------|---|-------------------------|---------------|----------------------|---|-----------------|
|   | $\text{BaS}$ | + | $\text{H}_2\text{SO}_4$ | $\rightarrow$ | $\text{H}_2\text{S}$ | + | $\text{BaSO}_4$ |
| Б | 0.45         |   | 0.2                     |               |                      |   |                 |
| П | 0.2          |   | 0.2                     |               |                      |   |                 |
| О | 0.25         |   | –                       |               | 0.2                  |   | 0.2             |

|   |               |     |                              |     |                       |               |                           |     |                  |     |                       |
|---|---------------|-----|------------------------------|-----|-----------------------|---------------|---------------------------|-----|------------------|-----|-----------------------|
|   | $3\text{BaS}$ | $+$ | $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ | $+$ | $6\text{H}_2\text{O}$ | $\rightarrow$ | $2\text{Cr}(\text{OH})_3$ | $+$ | $3\text{BaSO}_4$ | $+$ | $3\text{H}_2\text{S}$ |
| Б | 0.25          |     | 0.1                          |     |                       |               |                           |     |                  |     |                       |
| П | 0.25          |     | 0.083                        |     |                       |               |                           |     |                  |     |                       |
| О | –             |     | 0.0167                       |     | 0.5                   |               | 0.167                     |     | 0.25             |     | 0.25                  |

Второй:

|   |               |     |                              |     |                       |               |                           |     |                  |     |                       |
|---|---------------|-----|------------------------------|-----|-----------------------|---------------|---------------------------|-----|------------------|-----|-----------------------|
|   | $3\text{BaS}$ | $+$ | $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ | $+$ | $6\text{H}_2\text{O}$ | $\rightarrow$ | $2\text{Cr}(\text{OH})_3$ | $+$ | $3\text{BaSO}_4$ | $+$ | $3\text{H}_2\text{S}$ |
| Б | 0.45          |     | 0.1                          |     |                       |               |                           |     |                  |     |                       |
| П | 0.3           |     | 0.1                          |     |                       |               |                           |     |                  |     |                       |
| О | 0.15          |     | –                            |     | 0.6                   |               | 0.2                       |     | 0.3              |     | 0.3                   |

|   |              |     |                         |               |                      |     |                 |
|---|--------------|-----|-------------------------|---------------|----------------------|-----|-----------------|
|   | $\text{BaS}$ | $+$ | $\text{H}_2\text{SO}_4$ | $\rightarrow$ | $\text{H}_2\text{S}$ | $+$ | $\text{BaSO}_4$ |
| Б | 0.15         |     | 0.2                     |               |                      |     |                 |
| П | 0.15         |     | 0.15                    |               |                      |     |                 |
| О | –            |     | 0.05                    |               | 0.15                 |     | 0.15            |

|   |                          |     |                           |               |                              |     |                       |
|---|--------------------------|-----|---------------------------|---------------|------------------------------|-----|-----------------------|
|   | $3\text{H}_2\text{SO}_4$ | $+$ | $2\text{Cr}(\text{OH})_3$ | $\rightarrow$ | $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ | $+$ | $6\text{H}_2\text{O}$ |
| Б | 0.05                     |     | 0.2                       |               |                              |     |                       |
| П | 0.05                     |     | 0.033                     |               |                              |     |                       |
| О | –                        |     | 0.167                     |               | 0.017                        |     | 0.1                   |

4. При выборе любого способа решения задачи получаем:

ушло из раствора  $0.2 + 0.25 = 0.45$  моль  $\text{H}_2\text{S}$  ( $M = 34$ ),

$0.2 + 0.25 = 0.45$  моль  $\text{BaSO}_4$  ( $M = 233$ )

$0.167$  моль  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  ( $M = 103$ ).

осталось в растворе  $0.0167$  моль  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$  ( $M = 392$ ).

5. Масса раствора по окончании опыта равняется массе всех смешанных веществ за вычетом того, что ушло из раствора:

$$m_{\text{р-ра}} = m_{\text{р-ра}}(\text{H}_2\text{SO}_4) + m(\text{Cr}(\text{OH})_3) + m_{\text{р-ра}}(\text{BaS}) - m(\text{H}_2\text{S}) - m(\text{BaSO}_4) - m(\text{Cr}(\text{OH})_3)$$

$$m_{\text{р-ра}} = 125 + 20.6 + 225 - 0.45 \cdot 34 - 0.45 \cdot 233 - 0.167 \cdot 103 \approx 233 \text{ г}$$

$$\omega(\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3) = \frac{0.0167 \cdot 392}{233} = 0.0281 \text{ (2.81\%)}$$

**Примечание:**

1. За составление уравнений реакций – 9 баллов (по 3 балла за каждое уравнение)
2. За составление материального баланса – 16 баллов (по 4 балла за каждый)
3. За расчет массы раствора – 5 баллов
4. За нахождение массовой доли сульфата хрома (III) – 2 балла

**Итого: 32 балла**