

**Межрегиональная олимпиада школьников**  
**«Будущие исследователи – будущее науки» - 2020. Финальный тур.**  
Время на выполнение заданий – 180 минут

**10 класс**

**Задача 10-1**

Соединение **А** образовано тремя элементами, проявляющими типично неметаллические свойства. Водный раствор **А** имеет кислую среду и на его нейтрализацию требуется 40.0 см<sup>3</sup> 0.500 моль/л раствора NaOH. Полное испарение полученного раствора приводит к выделению лишь бесцветного вещества **Б** массой 2.81 г, которое окрашивает пламя в ярко-желтый цвет. При прокаливании **Б** образуется соль **В** белого цвета, 0.360 г воды и 896 см<sup>3</sup> (н.у.) простого газообразного вещества **Г**, которое при нормальных условиях имеет плотность 1.43 г/дм<sup>3</sup>.

1. Установите зашифрованные вещества. Ответы подтвердите необходимыми расчетами и пояснениями.
2. Приведите уравнения упомянутых реакций.
3. Укажите тип гибридизации атомов, пространственное расположение связей и строение **А**.

**Решение**

1. Определим молярную массу газа **Г**:

$$M(\Gamma) = 1.43 \text{ г/дм}^3 \cdot 22.4 \text{ дм}^3/\text{моль} = 32 \text{ г/моль.}$$

Таким образом, **Г** – это кислород O<sub>2</sub>. Тогда вещество **Б** – натриевая соль кислоты, которая способна разлагаться с выделением кислорода. Наличие воды в продуктах разложения указывает на то, что **Б** – кристаллогидрат.

$$\text{Количество вещества кислорода: } n(\text{O}_2) = 0.896 \text{ дм}^3 / (22.4 \text{ дм}^3/\text{моль}) = 0.04 \text{ моль;}$$

$$\text{Масса кислорода: } m(\text{O}_2) = 0.04 \text{ моль} \cdot 32 \text{ г/моль} = 1.28 \text{ г.}$$

$$\text{Масса В: } m(\text{В}) = m(\text{Б}) - m(\text{O}_2) - m(\text{H}_2\text{O}) = 2.81 \text{ г} - 1.28 \text{ г} - 0.36 \text{ г} = 1.17 \text{ г.}$$

Вещество **В** содержит 0.04 дм<sup>3</sup> · 0.500 моль/дм<sup>3</sup> · 23 г/моль = 0.46 г натрия, а масса аниона составляет 1.17 г – 0.46 г = 0.71 г. Отсюда молярная масса аниона равна:

$$0.71 / (0.46 / 23) = 35.5 \text{ г/моль. Таким образом, В – это NaCl.}$$

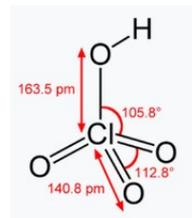
$$\text{Его количество равно: } n(\text{NaCl}) = 1.17 \text{ г} / 58.5 \text{ г/моль} = 0.02 \text{ моль.}$$

Поскольку при разложении вещества **Б** образовывалось 0.02 моль NaCl, 0.04 моль O<sub>2</sub>, и 0.360/18 = 0.02 моль H<sub>2</sub>O можно сделать вывод, что состав **Б** – NaClO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O, тогда **А** – HClO<sub>4</sub>.

2.  $\text{HClO}_4 + \text{NaOH} = \text{NaClO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ; при испарении воды образуется лишь кристаллическое бесцветное соединение NaClO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O.



3. Пространственное расположение связей:



У хлора sp<sup>3</sup> – гибридизация, у атомов кислорода с двойной связью – sp<sup>2</sup>, у атома кислорода, связанного с водородом – sp<sup>3</sup>.

**Разбалловка:**

За установление химических формул <b>А – Г</b> по 3 б	12 б
За уравнения реакций	4 + 5 = 9 б
За пространственное расположение связей	1 б
За тип гибридизации атомов	3 б
Всего	25 б

### Задача 10-2

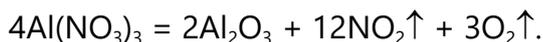
Воздушный шарик диаметром 14.75 см при 50°C и атмосферном давлении заполнили газовой смесью, которая образовалась при термическом разложении 2.556 г нитрата алюминия, остаток объема шарика заполнили гелием. Считайте, что димеризацией NO<sub>2</sub> можно пренебречь.

1. Какая масса гелия потребовалась для наполнения шарика?
2. Взлетит ли такой шарик в воздух? Ответ подтвердите расчетами и поясните.
3. Найдите массу твердого остатка после реакции разложения нитрата алюминия.

### Решение

1. Найдем объем шарика:  $V = (4/3)\pi(d/2)^3 = 1679 \text{ см}^3 = 1.679 \text{ л}$ .

Реакция термического разложения нитрата алюминия:



$$n(\text{Al}(\text{NO}_3)_3) = 2.556 \text{ г} / 213 \text{ г/моль} = 0.012 \text{ моль};$$

$$n(\text{NO}_2) = 0.036 \text{ моль};$$

$$n(\text{O}_2) = 0.009 \text{ моль};$$

$$n(\text{NO}_2 + \text{O}_2) = 0.045 \text{ моль}.$$

Эти газы создают давление:

$$P = nRT/V = 0.045 \text{ моль} \cdot 0.082 \text{ л}\cdot\text{атм}/(\text{моль}\cdot\text{К}) \cdot (273 + 50) \text{ К} / 1.679 \text{ л} = 0.71 \text{ атм}.$$

Гелия в шарик добавляют до 1 атм, то есть его парциальное давление равно  $(1 - 0.71) = 0.29 \text{ атм}$ .

Это давление создается добавлением

$$n = PV/RT = 0.29 \text{ атм} \cdot 1.679 \text{ л} / 0.082 \text{ л}\cdot\text{атм}/(\text{моль}\cdot\text{К}) \cdot (273 + 50) \text{ К} = 0.018 \text{ моль гелия}$$
$$\text{массой } 0.018 \text{ моль} \cdot 4 \text{ г/моль} = 0.072 \text{ г}.$$

2. В шарике находится 0.036 моль NO<sub>2</sub>, 0.009 моль O<sub>2</sub> и 0.018 моль He. Общее количество веществ 0.063 моль. Мольные доли газов:

$$\varphi(\text{NO}_2) = 0.036 / 0.063 = 0.5714;$$

$$\varphi(\text{O}_2) = 0.009 / 0.063 = 0.1429;$$

$$\varphi(\text{He}) = 0.018 / 0.063 = 0.2857.$$

Молярная масса газовой смеси равна:

$$M = \varphi(\text{NO}_2) \cdot M(\text{NO}_2) + \varphi(\text{O}_2) \cdot M(\text{O}_2) + \varphi(\text{He}) \cdot M(\text{He}) =$$
$$= 0.5714 \cdot 46 \text{ г/моль} + 0.1429 \cdot 32 \text{ г/моль} + 0.2857 \cdot 4 \text{ г/моль} = 32 \text{ г/моль}.$$

Так как средняя молярная масса газов в шарике больше, чем средняя молярная масса воздуха (29 г/моль), то шарик не взлетит.

3. Найдем массу оксида алюминия, образовавшегося в результате термического разложения нитрата алюминия.

$$n(\text{Al}_2\text{O}_3) = n(\text{Al}(\text{NO}_3)_3) / 2 = 0.012 \text{ моль} / 2 = 0.006 \text{ моль}.$$

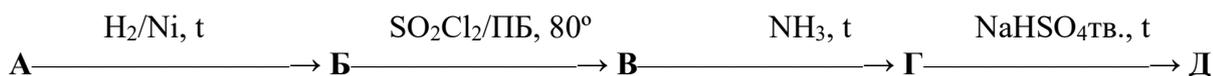
$$m(\text{Al}_2\text{O}_3) = n(\text{Al}_2\text{O}_3) \cdot M(\text{Al}_2\text{O}_3) = 0.006 \text{ моль} \cdot 102 \text{ г/моль} = 0.612 \text{ г}.$$

### **Разбалловка:**

За расчет массы гелия	10 б
За ответ на вопрос 2 и пояснения с расчетами	10 б
За расчет массы сухого остатка	5 б
Всего	25 б

### Задача 10-3

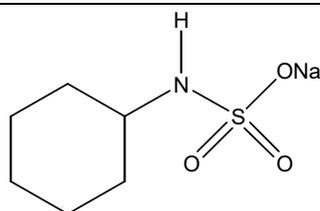
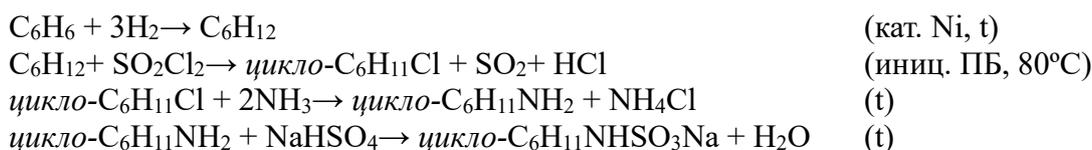
Расшифруйте схему получения сульфамидного подсластителя цикламата натрия Д (пищевая добавка E952, в 26 раз слаще сахара, содержит 35.82% С, 5.97% Н, 6.965% N, 23.88% O, 15.92% S, остальное – металл, M<sub>r</sub><400). Известно, что массовое соотношение углерода и водорода равно: 12.0 (А), 6.545 (В), 6.0 (углеводород Б). Составьте структурные формулы веществ А-Д, напишите уравнения реакций. ПБ – пероксид бензоила, инициатор радикальных реакций, используется как малая добавка.



### Решение

По данным элементного анализа определим состав цикламата натрия Д.  $\omega_C : \omega_H : \omega_N : \omega_O : \omega_S : \omega_{Na} = 35.82/12 : 5.97/1 : 6.965/14 : 23.88/16 : 15.92/32 : 11.445/23 = 2.985 : 5.97 : 0.4975 : 1.4925 : 0.4975 : 0.4976 = 6:12:1:3:1:1$ . Простейшая формула  $C_6H_{12}NO_3SNa$ . Расчетное значение  $M_r=201$ . Значит удвоенная формула  $C_{12}H_{24}N_2O_6S_2Na_2$  ( $M_r=402$ ) не применима.

Углеводород Б при соотношении масс С и Н, равном 6, должен иметь соотношение количества атомов С и Н равное 1:2. Простейшая формула  $CH_2$ . Очевидно, Б - это  $C_6H_{12}$ , судя по тому, что продукт Д имеет 6 атомов углерода.



Д – цикламат натрия

### Разбалловка:

За структурные формулы 5 веществ по 2 б	10 б
За уравнение гидрирования бензола	3 б
За последующие 3 уравнения по 4 б	12 б
<b>Всего</b>	<b>25 б</b>

### Задача 10-4

Окисление 41.5 г ароматического соединения А дает 41.5 г ароматического соединения Б. При нагревании в присутствии концентрированной серной кислоты смеси 41.5 г А и 41.5 г Б они полностью прореагируют с образованием 74 г полимерного продукта В. Данный полимер может использоваться в качестве активной фазы для хроматографического разделения энантиомеров. Он содержит 72.97% С, 5.41% Н, 21.62% О. В  $^1H$  ЯМР спектрах веществ Б, В и А имеются сигналы соответственно 2, 3 и 4 структурно неэквивалентных атомов водорода. Вещества А и В хиральны. Сколько оптических изомеров имеет вещество А? Нарисуйте их. Определите структурные формулы А, Б, В и напишите уравнения реакций. Для первой стадии расставлять коэффициенты не обязательно.



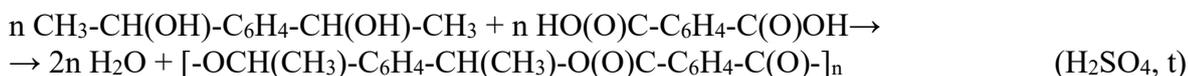
### Решение

По массовым долям элементов выведем формулу вещества В.  $\omega_C : \omega_H : \omega_O = 72.97/12 : 5.41/1 : 21.62/16 = 6.08 : 5.41 : 1.35 = 4.5:4:1 = 9:8:2$ . Простейшая формула мономерного звена полимера  $C_9H_8O_2$ . В условии сказано, что А и Б являются ароматическими, значит

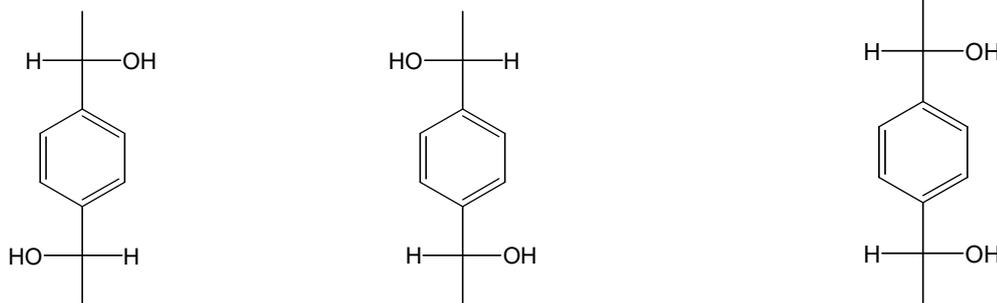
содержат более 6 атомов углерода каждый. Значит в мономерном звене В должно быть более 12 атомов углерода. Предположим формулу  $C_{18}H_{16}O_4$ , при этом  $M=296$  г/моль. Условия реакции А с Б напоминают реакцию этерификации спирта с кислотой с образованием сложного эфира и воды.

Определим количество звеньев сложного эфира:  $74/296=0.25$  моль. При этом выделяется вода:  $m(H_2O)=41.5+41.5-74=9$  г. Количество воды 0.5 моль, оно в 2 раза больше количества эфира. Следовательно, В - это диэфир, получаемый этерификацией двухатомного спирта и дикарбоновой кислоты.

Определим молярные массы спирта и кислоты. Они обе равны  $41.5/0.25=166$  г/моль. Карбоновая кислота должна содержать две карбокси-группы  $COOH$  по 45 г/моль и бензольное кольцо. Это терефталевая кислота  $HOOC-C_6H_4-COOH$ , именно она имеет два разных типа атомов водорода. Двухатомный хиральный спирт, окисляющийся до терефталевой кислоты — это 1,4-бис(1-гидроксиэтил)бензол. В его молекуле 4 типа атомов водорода. Наличие 2 асимметрических атомов углерода приводит к существованию 3 оптических изомеров (оптически активные RR и SS, а также один оптически неактивный RS).



оптически активные RR и SS, оптически неактивный RS



Разбалловка:

За вывод формул А, Б, В по 4 б	12 б
За 2 уравнения реакций по 4 б	8 б
За верное число изомеров и их рисунки	5 б
<b>Всего</b>	<b>25 б</b>