

Олимпиада «ЛОМОНОСОВ»
ХИМИЯ
ВАРИАНТ 2

1.3. Зеленый цвет фотосинтезирующих организмов обусловлен хлорофиллом. Рассчитайте массовую долю углерода в хлорофилле $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$. (4 балла)

Решение. Молярная масса хлорофилла

$$M = 55 \cdot 12 + 72 \cdot 1 + 5 \cdot 16 + 4 \cdot 14 + 1 \cdot 24 = 892 \text{ г/моль.}$$

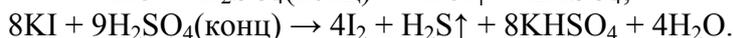
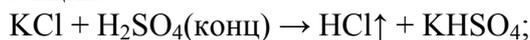
Массовая доля углерода составляет

$$\omega(C) = 660 / 892 = 0.7399 \text{ (или 73.99\%).}$$

Ответ: 73.99%.

2.5. Напишите реакции взаимодействия кристаллических хлорида калия и иодида калия с концентрированной серной кислотой. Сравнив эти реакции, определите, какой из галогенид-ионов проявляет более сильные восстановительные свойства. (6 баллов)

Решение. Уравнения реакций:



Реакция хлорида калия с серной кислотой не приводит к изменению степени окисления хлора, а в реакции иодида калия с серной кислотой происходит окисление иодид-иона до I_2 . (Как правильное, принимались уравнения реакций KI с серной кислотой, в которых сера восстанавливается до S^0 или до SO_2). Иодид-ион – более сильный восстановитель.

3.2. В 4.48 л (н. у.) газообразного продукта взаимодействия мышьяка с одним из галогенов содержится $7.224 \cdot 10^{23}$ атомов и $9.3912 \cdot 10^{24}$ электронов. Определите неизвестный газ. (8 баллов)

Решение. Неизвестное газообразное вещество имеет формулу $AsHal_n$. Количество вещества равно

$$\nu(AsHal_n) = 4.48 / 22.4 = 0.2 \text{ моль.}$$

Значит, число молекул вещества в этой порции составляет

$$N(\text{мол}) = 0.2 \cdot N_A,$$

а число атомов в одной молекуле равно

$$N(\text{ат}) = 7.224 \cdot 10^{23} / (0.2 \cdot 6.02 \cdot 10^{23}) = 6.$$

Тогда число атомов галогена в молекуле равно $n = 6 - 1 = 5$, т.е. формула газа $AsHal_5$.

Число электронов в одной молекуле составляет

$$N(e) = 9.3912 \cdot 10^{24} / (0.2 \cdot 6.02 \cdot 10^{23}) = 78.$$

$$78 = 33 + 5 \cdot Z,$$

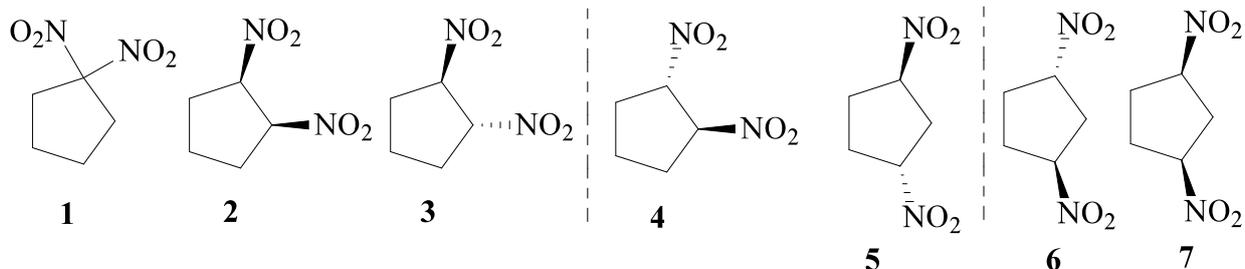
$$Z = 9.$$

Неизвестный элемент – фтор, искомый газ – AsF_5 .

Ответ: AsF_5 .

4.6. Сколько существует изомерных динитроциклопентанов? Изобразите их структурные формулы. (8 баллов)

Решение.



Изомеры **3** и **4**, а также **5** и **6** являются оптическими изомерами.

Ответ: 7 изомерных динитроциклопентанов.

5.5. К 100 г насыщенного при 20°C раствора карбоната одновалентного металла **X** добавили 10.1 г безводной соли, после чего в осадок выпало 43.1 г кристаллогидрата состава $X_2CO_3 \cdot 10H_2O$. Определите неизвестный металл, если растворимость его безводного карбоната при 20°C составляет 21.5 г на 100 г воды. (10 баллов)

Решение. Массовая доля X_2CO_3 в насыщенном растворе при 20°C составляет

$$\omega(X_2CO_3) = 21.5 / 121.5 = 0.177,$$

следовательно, в 100 г исходного раствора находилось 17.7 г соли.

После добавления безводной соли к этому раствору выпал осадок кристаллогидрата, над которым находится насыщенный (17.7%-ный) раствор соли:

$$\omega(X_2CO_3) = m(X_2CO_3) / m(p-pa) = \frac{17.7 + 10.1 - x}{100 + 10.1 - 43.1} = 0.177,$$

где x – масса соли в осадке кристаллогидрата. Из полученного уравнения

$$\frac{27.8 - x}{67} = 0.177$$

находим $x = 15.94$ (г). Пусть M – молярная масса металла. Массовую долю соли в осадке кристаллогидрата, равную

$$\omega = 15.94 / 43.1 = 0.37,$$

можно выразить как $\frac{2M + 60}{2M + 60 + 10 \cdot 18}$. Тогда из уравнения

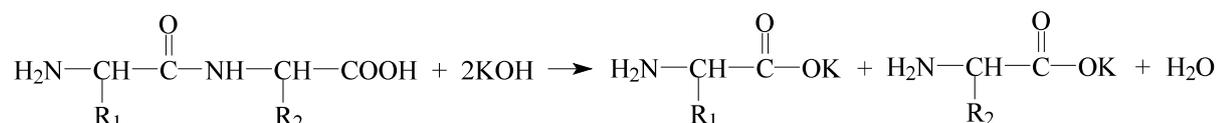
$$\frac{2M + 60}{2M + 240} = 0.37$$

получаем $M \approx 23$ г/моль (это натрий Na).

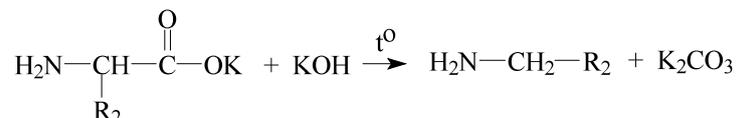
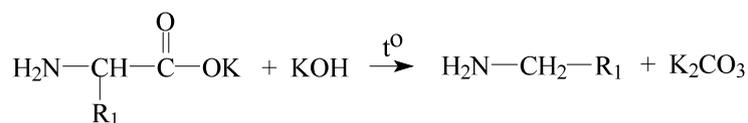
Ответ: натрий.

6.4. Дипептид, образованный природными аминокислотами, подвергли щелочному гидролизу. После сплавления продуктов гидролиза со щёлочью и обработки избытком азотистой кислоты была получена смесь пентандиола-1,5 и метанола. Установите возможное строение дипептида. Напишите уравнения протекающих реакций. (10 баллов)

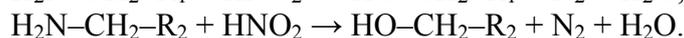
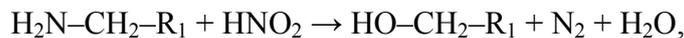
Решение. Основное свойство пептидов – способность к гидролизу. Запишем уравнение щелочного гидролиза дипептида, образованного двумя разными аминокислотами:



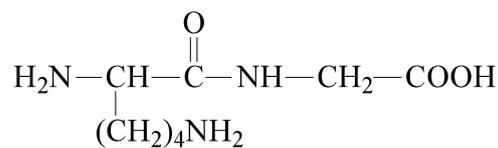
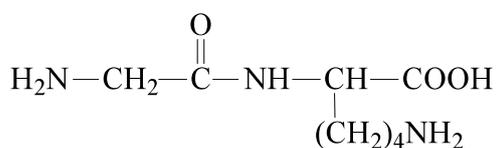
Сплавление продуктов гидролиза со щёлочью (реакция декарбоксилирования) приводит к образованию соответствующих аминов:



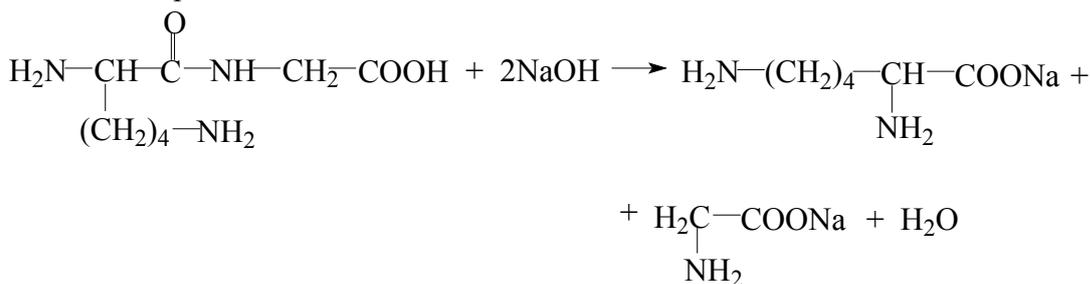
Образовавшиеся первичные амины реагируют с избытком азотистой кислоты, образуя спирты:



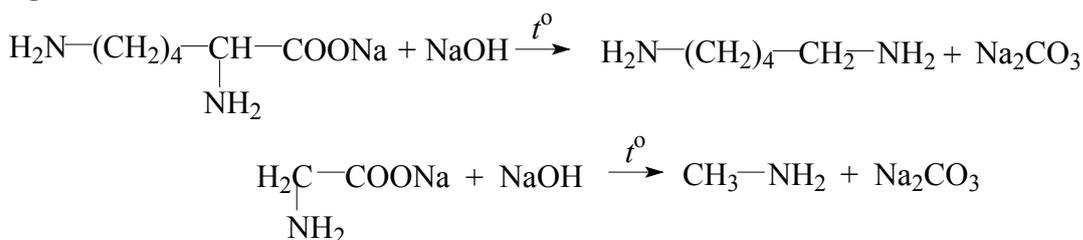
В составе дипептида могут быть и аминокислоты, содержащие дополнительные карбоксильные группы (например, глутаминовая кислота) или аминогруппы (например, лизин). Один из радикалов принадлежит молекуле лизина, а второй – глицину. Можно предположить две формулы исходного дипептида, отвечающих условию задачи:



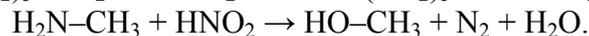
Реакция гидролиза:



Прокаливание:



Реакции с азотистой кислотой:



Ответ: дипептид образован лизином и глицином.

7.5. Разложение паров ацетона при 500°C протекает как реакция первого порядка:



Порцию ацетона массой 88 г выдерживали при данной температуре в течение 72 мин и получили 29.738 л этилена (измерено при н. у.). Рассчитайте период полупревращения ацетона. (10 баллов)

Решение. Для реакции первого порядка зависимость массы реагента от времени:

$$m(t) = m_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{\tau_{1/2}}}$$

По условию, получено этилена

$$v(\text{C}_2\text{H}_4) = 29.738 / 22.4 = 1.328 \text{ моль,}$$

значит, ацетона разложилось такое же количество, и

$$m(\text{ацетона}) = 1.328 \cdot 58 = 77 \text{ г.}$$

Осталось $m(\text{ацетона}) = 88 - 77 = 11 \text{ г.}$ Тогда

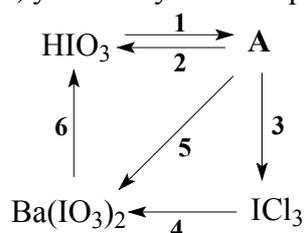
$$11 = 88 \cdot \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{72}{\tau_{1/2}}}$$

$$\left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{72}{\tau_{1/2}}} = \frac{11}{88} = \frac{1}{8} = \left(\frac{1}{2} \right)^3,$$

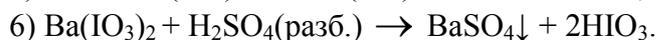
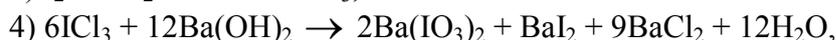
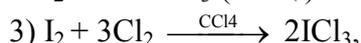
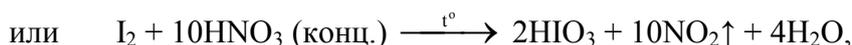
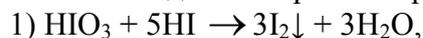
отсюда $\frac{72}{\tau_{1/2}} = 3$, $\tau_{1/2} = 72 / 3 = 24 \text{ мин.}$

Ответ: 24 мин.

8.1. Запишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений. Определите неизвестное вещество А, укажите условия протекания реакций. (12 баллов)



Решение. Один из вариантов решения:



Ответ: А – I₂.

9.5. При полном сгорании углеводорода образовалась газовая смесь с плотностью по водороду 18.455. Известно, что 0.01 моль этого углеводорода может обесцветить 32 г 10%-го раствора брома в тетрахлорметане. Установите структурную формулу углеводорода и предложите способ его получения из метана (напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания). Вычислите объем кислорода (25°C, 1 атм), необходимый для сжигания 10 г данного углеводорода. (16 баллов)

Решение.

Реакция полного сгорания углеводорода C_xH_y:



Найдем среднюю молярную массу образовавшейся газовой смеси (CO_2 и H_2O):

$$M_{\text{cp}} = 18.455 \cdot 2 = 36.91 \text{ г/моль.}$$

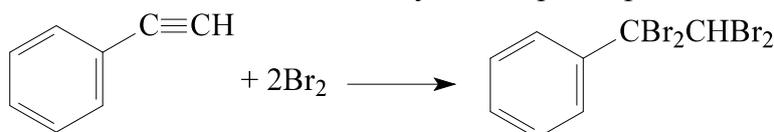
Выразим среднюю молярную массу смеси через молярные массы и количества компонентов смеси:

$$M_{\text{cp}} = \frac{44x + 18 \cdot 0.5y}{x + 0.5y} = 36.91$$

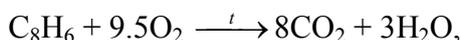
Отсюда получаем соотношение $1.333y = x$. Установим простейшую формулу исходного углеводорода: $x : y = 4 : 3$, простейшая формула C_4H_3 , такой формуле не соответствует ни один углеводород. Истинная формула углеводорода C_8H_6 . По условию, 0.01 моль углеводорода присоединяет бром в количестве

$$v(\text{Br}_2) = 32 \cdot 0.1 / 160 = 0.02 \text{ моль.}$$

Если при бромировании требуется двукратное количество брома, то исходный углеводород – это алкин или диен. Подходящий углеводород – фенилацетилен:



Реакция сжигания:

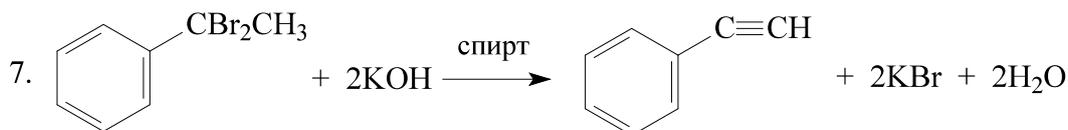
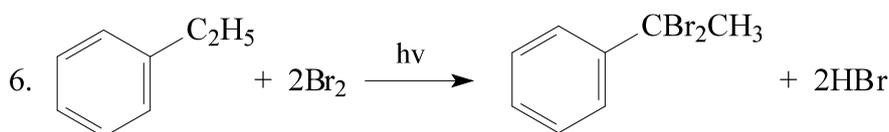
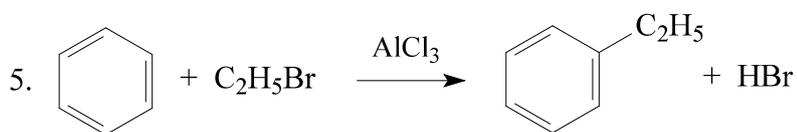
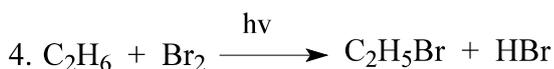
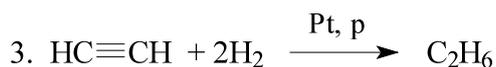
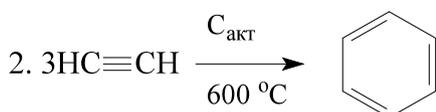
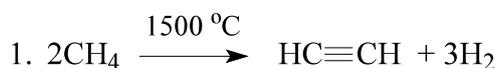


$$v(\text{C}_8\text{H}_6) = 10 / 102 = 0.098 \text{ моль,}$$

$$v(\text{O}_2) = 9.5 \cdot 0.098 = 0.931 \text{ моль,}$$

$$V(\text{O}_2) = \frac{vRT}{p} = \frac{0.931 \cdot 8.31 \cdot 298}{101.3} = 22.76 \text{ л.}$$

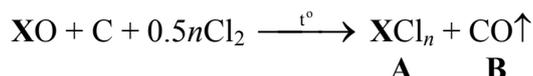
Один из возможных путей синтеза фенилацетилена из метана:



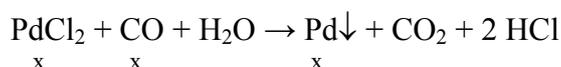
Ответ: фенилацетилен, 22.76 л.

10.2. Оксид металла состава **XO** массой 11.25 г обработали хлором в присутствии избытка угля при температуре 1000°C и получили вещество **A** и газ **B**. Газ **B** был пропущен через избыток водного раствора хлорида палладия(II), что привело к выпадению 47.7 г осадка. Вещество **A** обработали 647.93 мл 11%-ного раствора гидроксида калия с плотностью 1.10 г/мл. Определите состав и массу образовавшегося при этом осадка, а также массовые доли веществ в растворе над осадком. Предложите способ получения металла **X** из вещества **A**. Напишите уравнения всех упомянутых реакций. (16 баллов)

Решение. При высокотемпературном хлорировании оксида металла **X** состава **XO** в присутствии угля образуется хлорид этого металла (вещество **A**) и оксид углерода(II) (газ **B**):



Оксид углерода(II) восстанавливает палладий до металла при пропускании этого газа через водный раствор хлорида палладия:



Количество палладия:

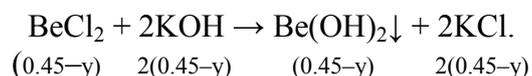
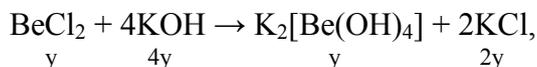
$$v(\text{Pd}) = 47.7 / 106 = 0.45 \text{ моль.}$$

Значит, $M(\text{XO}) = 11.25 / 0.45 = 25$ г/моль, $M(\text{X}) = 9$ г/моль. Металл **X** – бериллий, его хлорид (вещество **A**) – BeCl_2 , $v(\text{BeCl}_2) = 0.45$ моль.

Для обработки 0.45 моль хлорида бериллия было взято $647.93 \cdot 1.10 = 712.72$ г раствора гидроксида калия, содержащего

$$v(\text{KOH}) = 712.72 \cdot 0.11 / 56 = 1.4 \text{ моль.}$$

При взаимодействии хлорида бериллия с раствором гидроксида калия протекают следующие реакции:



$$v(\text{KOH}) = 1.4 \text{ моль} = 4y + 2(0.45 - y), \text{ тогда } y = 0.25 \text{ моль.}$$

Масса осадка:

$$v(\text{Be}(\text{OH})_2) = 0.2 \text{ моль}, m(\text{Be}(\text{OH})_2) = 43 \cdot 0.2 = 8.6 \text{ г.}$$

В растворе над осадком гидроксида бериллия содержатся соли $\text{K}_2[\text{Be}(\text{OH})_4]$ и KCl .

$$v(\text{K}_2[\text{Be}(\text{OH})_4]) = y = 0.25 \text{ моль}, v(\text{KCl}) = 2y + 2(0.45 - y) = 0.9 \text{ моль.}$$

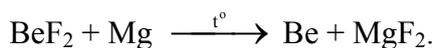
Масса раствора:

$$m(\text{р-ра}) = m(\text{BeCl}_2) + m(\text{KOH(р-р)}) - m(\text{Be}(\text{OH})_2) = 80 \cdot 0.45 + 712.72 - 8.6 = 740.12 \text{ г.}$$

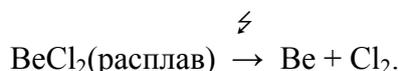
$$\omega(\text{K}_2[\text{Be}(\text{OH})_4]) = 155 \cdot 0.25 / 740.12 = 0.0524 \text{ (или 5.24\%)},$$

$$\omega(\text{KCl}) = 74.5 \cdot 0.9 / 740.12 = 0.0906 \text{ (или 9.06\%)}.$$

Бериллий получают из фторида бериллия металлотермией. Для восстановления металла используют магний или кальций:



Можно также получить бериллий электролизом расплава его хлорида в присутствии хлорида натрия:



Ответ: 8.6 г осадка $\text{Be}(\text{OH})_2$; 5.24% $\text{K}_2[\text{Be}(\text{OH})_4]$, 9.06% KCl .