

Олимпиада по химии
«Покори Воробьёвы горы» – 2013
Решение

1. Каких атомов – калия или натрия – больше в земной коре, если их массовые доли в земной коре примерно равны между собой?

Решение:

Количество вещества $\nu = m/M$. Поскольку массы калия и натрия в земной коре примерно равны, а атомная масса натрия меньше атомной массы калия, то количество атомов натрия больше.

2. Приведите формулу аниона, образованного тремя атомами двух элементов, находящихся в одном периоде. Число электронов и протонов в этом анионе различается на единицу.

Ответ: NO_2^- .

3. Напишите уравнение реакции между оксидом элемента II группы и оксидом элемента 2-го периода.

Ответ: $\text{CaO} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3$.

4. Какой галогеноводород находится в смеси с углекислым газом, если при 30°C и нормальном атмосферном давлении плотность смеси составляет 1.46 г/л ?

Решение:

По уравнению Клапейрона–Менделеева

$$pV = \frac{m}{M} RT, \text{ откуда } M = \frac{\rho RT}{p} = \frac{1.46 \cdot 8.31 \cdot 303}{101.3} = 36.3 \text{ г/моль.}$$

Средняя молярная масса смеси углекислого газа ($M = 44\text{ г/моль}$) и галогеноводорода меньше молярной массы HCl . Следовательно, галогеноводород – HF .

Ответ: галогеноводород – HF .

5. Сколько изомеров отвечает формуле $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{Cl}$? Изобразите формулы этих изомеров и назовите их.

1) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Cl}$ 1-хлорпентан	5) $\begin{array}{c} \text{Cl} \\ \\ \text{CH}_3\text{CCH}_2\text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$ 2-метил-2-хлорбутан
2) $\begin{array}{c} * \\ \text{CH}_3\text{CHCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3 \\ \\ \text{Cl} \end{array}$ 2-хлорпентан	6) $\begin{array}{c} \text{Cl} \\ \\ \text{CH}_3\text{CHCHCH}_3 \\ \quad * \\ \text{CH}_3 \end{array}$ 2-метил-3-хлорбутан
3) $\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHCH}_2\text{CH}_3 \\ \\ \text{Cl} \end{array}$ 3-хлорпентан	7) $\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{CHCH}_2\text{CH}_2\text{Cl} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$ 3-метил-1-хлорбутан
4) $\begin{array}{c} * \\ \text{ClCH}_2\text{CHCH}_2\text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$ 2-метил-1-хлорбутан	8) $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3\text{CCH}_2\text{Cl} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$ 2,2-диметил-1-хлорпропан

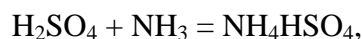
Соединения 2) 4) и 6) содержат асимметрический атом углерода (отмечен *) и существуют в виде двух зеркальных изомеров (энантиомеров). Всего – 11 изомеров.

Ответ: 11 изомеров.

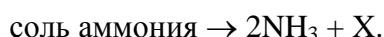
6. Некоторая соль при нагревании разлагается полностью, превращаясь в смесь двух газов, один из которых легче воздуха, а другой – тяжелее. При пропускании этой смеси через раствор серной кислоты масса газа уменьшилась в 2 раза, а объём – в 3 раза. Установите формулу соли.

Решение:

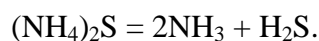
Судя по описанию, неизвестное вещество – соль аммония, при её разложении выделяется аммиак и неизвестный газ. При пропускании газовой смеси через раствор серной кислоты аммиак поглощается:



а объём уменьшается в 3 раза, следовательно на аммиак приходится две объёмные части, а на неизвестный газ – одна:



По условию, массы газов равны, следовательно молярная масса X в 2 раза больше молярной массы аммиака: $M(\text{X}) = 2M(\text{NH}_3) = 34$ г/моль. Это – сероводород, H_2S . Искомая соль – сульфид аммония:



Ответ: $(\text{NH}_4)_2\text{S}$.

7. В состав известного обезболивающего, жаропонижающего и противовоспалительного препарата входят углерод (60 масс. %), водород (4.44 масс. %) и кислород. Вычислите брутто-формулу этого соединения. Приведите названия этого препарата и изобразите его структурную формулу.

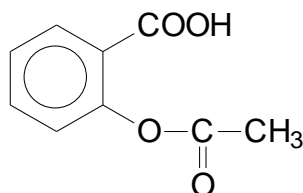
Решение:

Пусть формула соединения $\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z$. Тогда

$$x : y : z = \frac{60}{12} : \frac{4.44}{1} : \frac{35.56}{16} = 5 : 4.44 : 2.22 = 9 : 8 : 4.$$

Брутто-формула соединения $\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_4$. Это ацетилсалициловая кислота (аспирин).

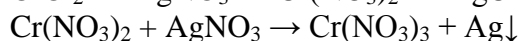
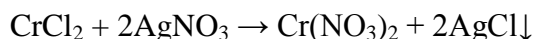
Структурная формула ацетилсалициловой кислоты:



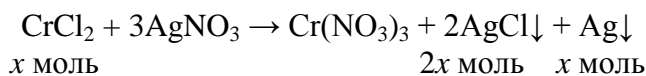
Ответ: ацетилсалициловая кислота (аспирин).

8. К раствору 13.95 г смеси свежеполученных хлорида и бромида хрома (II) прибавили избыток раствора нитрата серебра, при этом выпал осадок массой 32.99 г. Определите количественный состав исходной смеси.

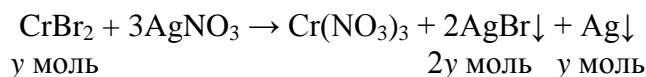
Решение:



Суммарно:



Аналогично:



Отсюда:

$$\begin{cases} 123x + 212y = 13.95 \\ 2x \cdot 143.5 + 2y \cdot 188 + (x + y) \cdot 108 = 32.99 \end{cases}, \quad \text{откуда} \quad \begin{cases} x = 0.01 \\ y = 0.06 \end{cases}.$$

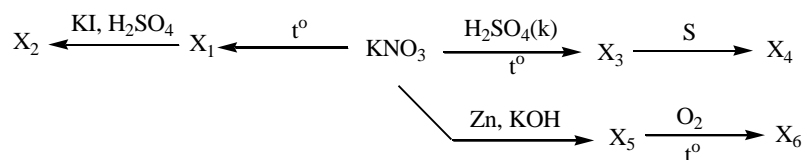
Тогда

$$m(\text{CrCl}_2) = 123x = 1.23 \text{ г},$$

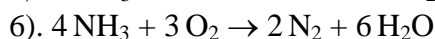
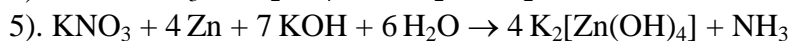
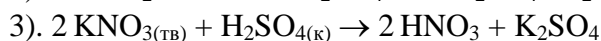
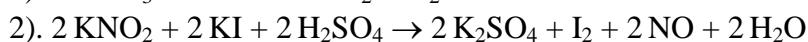
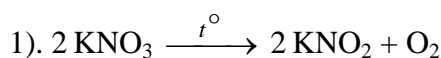
$$m(\text{CrBr}_2) = 212y = 12.72 \text{ г}.$$

Ответ: в смеси 1.23 г CrCl_2 и 12.72 г CrBr_2 .

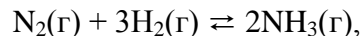
9. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, укажите условия их протекания (вещества $X_1 - X_6$ содержат атомы азота):



Решение:



10. Константа равновесия реакции



выраженная через парциальные давления, при 400°C равна $K = 1.60 \cdot 10^{-4} \text{ атм}^{-2}$. Считая газы идеальными, рассчитайте общее давление, которое необходимо приложить к смеси 3 частей H_2 и 1 части N_2 , чтобы получить равновесную смесь, содержащую 10 % NH_3 по объёму при 400°C .

Решение:

Пусть в исходной смеси содержалось 1 моль N_2 и 3 моль H_2 , и пусть к моменту достижения равновесия прореагировало x моль N_2 . Тогда в равновесной смеси содержится $1 - x$ моль N_2 , $3 - 3x$ моль H_2 и $2x$ моль NH_3 . Общее количество молей газов в равновесной смеси равно $(1 - x) + (3 - 3x) + 2x = 4 - 2x$ моль. Объёмная (или мольная) доля NH_3 в равновесной смеси равна $\frac{2x}{4 - 2x}$. По условию эта доля равна 10 %, то есть $\frac{2x}{4 - 2x} = 0.10$, откуда $x = 0.182$.

Мольные доли участников реакции равны

$$\varphi(\text{N}_2) = \frac{1 - x}{4 - 2x} = 0.225, \quad \varphi(\text{H}_2) = \frac{3 - 3x}{4 - 2x} = 0.675, \quad \varphi(\text{NH}_3) = 0.100.$$

По закону Дальтона парциальные давления газов в равновесной смеси равны

$$p(\text{N}_2) = 0.225 \cdot p, \quad p(\text{H}_2) = 0.675 \cdot p, \quad p(\text{NH}_3) = 0.100 \cdot p,$$

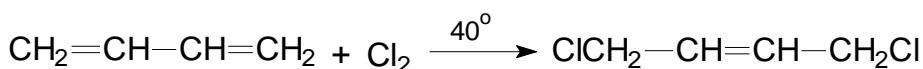
где p – общее давление.

Константа равновесия равна

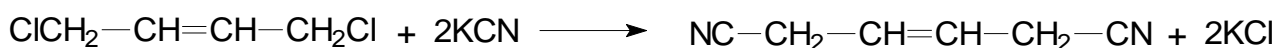
$$K_p = \frac{p_{\text{NH}_3}^2}{p_{\text{N}_2} \cdot p_{\text{H}_2}^3} = \frac{(0.100p)^2}{(0.225p) \cdot (0.675p)^3} = 1.60 \cdot 10^{-4},$$

откуда $p = 30.0 \text{ атм}$.

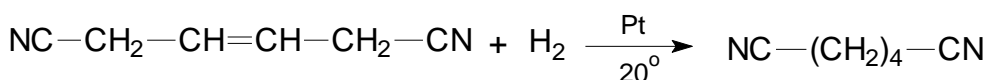
Ответ: 30.0 атм.



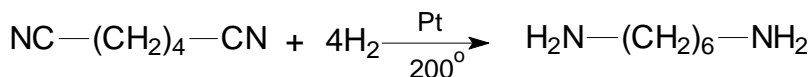
D



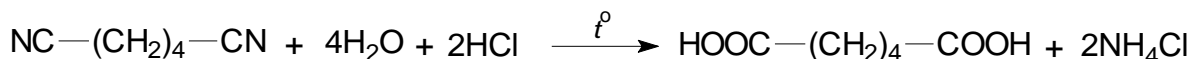
E



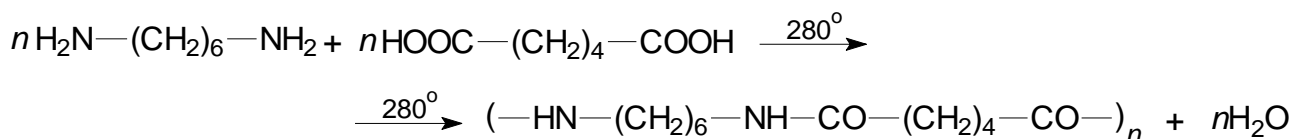
F



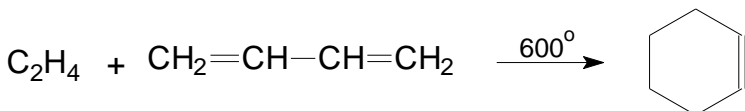
G



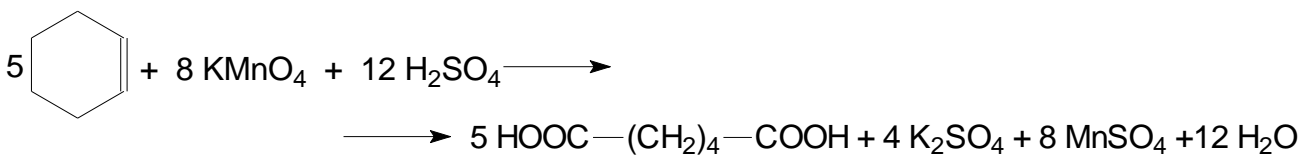
H



I



K



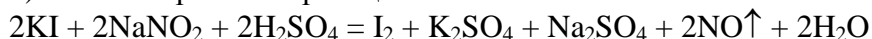
H

Ответ: соединение **I** – полимер **найлон-6,6**.

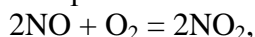
14. Для проведения опыта был использован прибор, состоящий из колбы, в которую вставлены капельная воронка и газоотводная трубка. В колбу поместили 20 мл 1 М раствора иодида калия, и 20 мл 0.5 М раствора нитрита натрия. Проверив прибор на герметичность, из капельной воронки по каплям добавили 40 мл 3 М раствора серной кислоты. Выделившийся газ пропустили через колонку с фосфорным ангидридом, а затем через склянку с раствором щёлочи. Масса склянки возросла на 0.181 г. Газ, прошедший через щёлочь, собрали над водой в перевернутый вверх дном цилиндр. Определите объём воды, вытесненной при заполнении цилиндра газом, и оцените размер колбы, в которой проводили опыт. Опыт проводили при н. у.

Решение:

1) В колбе протекает реакция



Выделяющийся газ частично окислился кислородом воздуха, находящимся в колбе, до NO_2 , который был поглощен щелочью:



Увеличение массы склянки с раствором щелочи приходится на массу поглощенного диоксида азота.

$$n(\text{NO}_2) = 0,181/46 = 0,003935 \text{ моль},$$

$$\text{соответственно } V(\text{O}_2) = 0,5n(\text{NO}_2) \cdot 22,4 = 0,044 \text{ л, что соответствует объему воздуха } V(\text{возд}) = 0,044/0,21 = 0,21 \text{ л} = 210 \text{ мл}$$

2) Таким образом, в NO_2 превратилось 0,088 л NO .

По условию задачи

$$n(\text{NaNO}_2) = 0,5 \cdot 0,02 = 0,01 \text{ моль}$$

$$n(\text{KI}) = 1 \cdot 0,02 = 0,02 \text{ моль}$$

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 3 \cdot 0,04 = 0,12 \text{ моль}$$

Таким образом, иодид и кислота взяты в избытке. Реакция между ними не идёт, так как раствор разбавлен. Выделившийся газ – это NO , который частично окислился воздухом, находившимся в колбе. Первоначально:

$$n(\text{NO}) = 0,01 \text{ моль}, V(\text{NO}) = 0,224 \text{ л}$$

После окисления, объем NO составляет $0,224 - 0,088 = 0,136$ л или 136 мл.

3) В начале реакции в колбе находилось 40 мл раствора и 210 мл воздуха. Таким образом, объем колбы равен 250 мл.

4) Первоначально в колбе было 210 мл воздуха. В процессе реакции образовалось 224 мл NO , Часть оксида азота, а именно, 88 мл NO окислились в NO_2 , при этом поглотилось 44 мл кислорода. При добавлении в колбу серной кислоты из колбы вытеснилось 40 мл газа. Объем вытесненной воды равен $V(\text{H}_2\text{O}) = 224 - 88 - 44 + 40 = 132$ мл. Таким образом, в цилиндре содержится 132 мл этой газовой смеси.

Ответ: 132 мл газа собрано в цилиндр, объем колбы равен примерно 250 мл

15. Эквимолярная смесь углеводородов с одинаковой массовой долей углерода (92.308 %) не обесцвечивает бромную воду. При обработке 5.2 г этой смеси перманганатом калия в кислой среде в реакционной смеси из органических кислот была обнаружена только бензойная кислота, для нейтрализации которой потребовалось 13.1 мл 15 %-ного раствора KOH ($\rho = 1.14$ г/мл). Установите строение и массу углеводородов в исходной смеси.

Решение:

Пусть простейшая формула изомерных углеводородов C_xH_y . Тогда

$$x : y = \frac{92.308}{12} : \frac{7.692}{1} = 1 : 1.$$

Следовательно, простейшая формула CH .

Поскольку при окислении углеводородов образуется бензойная кислота, можно предположить наличие в углеводородах бензольного кольца, т. е. это могут быть производные бензола формулы C_8H_8 , $\text{C}_{10}\text{H}_{10}$, $\text{C}_{12}\text{H}_{12}$, $\text{C}_{14}\text{H}_{14}$ и т. д., либо сам бензол C_6H_6 . По условию задачи углеводороды не обесцвечивают бромную воду. Следовательно, эти углеводороды не содержат кратных связей. Одним из веществ, удовлетворяющих условию задачи, может быть 1,2-дифенилэтан $\text{C}_6\text{H}_5\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—C}_6\text{H}_5$ ($\text{C}_{14}\text{H}_{14}$), другим может быть бензол или $\text{C}_{22}\text{H}_{22}$.

Рассмотрим вариант: $\text{C}_{14}\text{H}_{14}$ и C_6H_6 . Среди изомеров $\text{C}_{14}\text{H}_{14}$ только $\text{C}_6\text{H}_5\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—C}_6\text{H}_5$ даёт при окислении бензойную кислоту, при этом из 1 моль дифенилэтана образуется 2 моль бензойной кислоты.



Бензол в указанных условиях не окисляется.

Количество KOH , пошедшее на нейтрализацию кислоты:

$$v(\text{KOH}) = \rho \cdot v \cdot \omega / M = 1.14 \cdot 13.1 \cdot 0.15 / 56 = 0.04 \text{ моль}.$$

$$v(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}) = 0.04 \text{ моль}. \quad v(\text{C}_{14}\text{H}_{14}) = 0.02 \text{ моль}. \quad v(\text{C}_6\text{H}_6) = 0.02 \text{ моль}.$$

$$m(\text{C}_6\text{H}_5\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—C}_6\text{H}_5) = 0.02 \cdot 182 = 3.64 \text{ г}.$$

$$m(\text{C}_6\text{H}_6) = 0.02 \cdot 78 = 1.56 \text{ г}.$$

$m(\text{смеси}) = 3.64 + 1.52 = 5.2$ г, что соответствует условию задачи.

Ответ: 1.56 г бензола и 3.64 г дифенилэтана.