

Олимпиада «Ломоносов» по химии

Решения заданий для 10-11 классов

Вариант 1

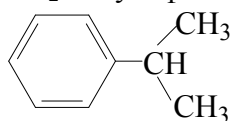
1. Приведите химические формулы следующих веществ и назовите их в соответствии с правилами ИЮПАК: веселящий газ, малахит, пирит, кумол. (4 балла)

Решение:

N_2O оксид азота(I), оксид диазота

$(CuOH)_2CO_3$ (или $CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$) основной карбонат меди(II), гидроксокарбонат меди(II)

FeS_2 дисульфид железа(II)



изопропилбензол

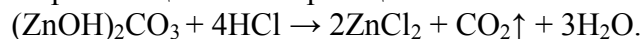
2. Установите формулу соединения, которое содержит цинк (58.04 масс.%), водород (0.89 масс.%), углерод (5.36 масс.%) и кислород, и напишите уравнение его реакции с соляной кислотой. (6 баллов)

Решение. Неизвестное соединение имеет формулу $Zn_xH_yC_zO_k$. Определим содержание кислорода в нем:

$$100 - 58.04 - 0.89 - 5.36 = 35.71, \text{ т.е. } 35.71 \text{ масс.}\%$$

$$x : y : z : k = \frac{58.04}{65} : \frac{0.89}{1} : \frac{5.36}{12} : \frac{35.71}{16} = 0.89 : 0.89 : 0.45 : 2.23 = 2 : 2 : 1 : 5.$$

Простейшая формула соединения – $Zn_2H_2CO_5$. Такой формуле отвечает соединение $(ZnOH)_2CO_3$ – основной карбонат цинка. Его реакция с соляной кислотой:

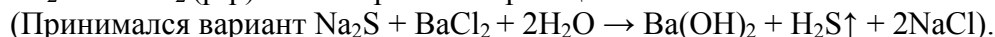
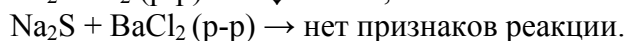
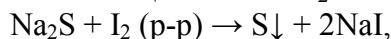


Ответ: $(ZnOH)_2CO_3$.

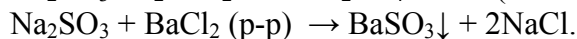
3. В трех бюксах находятся белые кристаллические вещества Na_2SO_4 , Na_2SO_3 и Na_2S , зашифрованные под номерами I – III. Используя данные таблицы, определите, какой номер соответствует каждой из этих солей, запишите уравнения всех реакций. (6 баллов)

Соль \ Реактив	I	II	III
I_2 (водный р-р)	Обесцвечивание, образование осадка	Обесцвечивание	Нет видимых изменений
$BaCl_2$ (р-р)	Нет видимых изменений	Образование осадка	Образование осадка

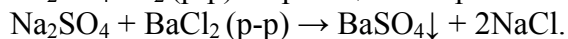
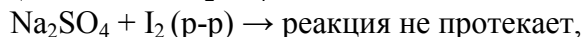
Решение. Вещество I – Na_2S .



Вещество II – Na_2SO_3 .



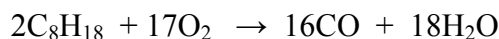
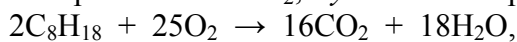
Вещество III – Na_2SO_4 .



4. При неполном сгорании бензина в двигателе автомобиля кроме углекислого газа и воды образуется токсичный угарный газ. Будем считать, что бензин состоит только из октана (плотность октана 0.70 кг/л). При сгорании 20.0 л такого бензина образовалось 60.0 кг продуктов сгорания. Рассчитайте массы CO, CO₂ и H₂O, образовавшихся при этом. Какова масса кислорода, потребовавшегося для сгорания? (8 баллов)

Решение. Масса сгоревшего октана равна $V \cdot \rho = 20.0 \text{ л} \cdot 0.700 \text{ кг/л} = 14.0 \text{ кг}$.

Пусть x моль октана сгорело с образованием CO₂, а y моль – с образованием CO. Тогда



Масса октана равна $m(\text{C}_8\text{H}_{18}) = 114(x + y)$.

Массы продуктов:

$$m(\text{CO}_2) = 44 \cdot 8x = 352x$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 18 \cdot 9(x + y) = 162(x + y)$$

$$m(\text{CO}) = 28 \cdot 8y = 224y$$

Общая масса продуктов равна $514x + 386y$. Получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} 114(x + y) = 14000, \\ 514x + 386y = 60000, \end{cases}$$

решение которой дает $x = 98.4$, $y = 24.4$.

Тогда массы продуктов составляют

$$m(\text{CO}_2) = 352x = 34600 \text{ г} = 34.6 \text{ кг},$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 162(x + y) = 19900 \text{ г} = 19.9 \text{ кг},$$

$$m(\text{CO}) = 224y = 5.5 \text{ кг}.$$

Масса кислорода равна

$$m(\text{O}_2) = m(\text{продуктов}) - m(\text{C}_8\text{H}_{18}) = 60 - 14 = 46 \text{ кг}.$$

Ответ: $m(\text{CO}_2) = 34.6 \text{ кг}$, $m(\text{H}_2\text{O}) = 19.9 \text{ кг}$, $m(\text{CO}) = 5.5 \text{ кг}$, $m(\text{O}_2) = 46 \text{ кг}$.

5. Плотность газообразной смеси двух эфиров, относящихся к гомологическому ряду насыщенных алифатических простых эфиров, при 151°C и 1 атм равна 1.6244 г/л. Плотность другой смеси тех же эфиров равна 2.2282 г/л (условия те же). Объемная доля одного эфира в первой смеси равна объемной доле другого эфира во второй смеси. Установите качественный и количественный состав каждой смеси (в мольных %), если известно, что один из эфиров проявляет оптическую активность. (8 баллов)

Решение. Определим среднюю молярную массу первой смеси:

$$M_{\text{ср.1}} = \frac{\rho RT}{p} = \frac{1.6244 \cdot 8.314 \cdot 424}{101.3} = 56.53 \text{ г/моль}.$$

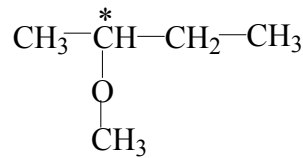
В смеси присутствует диметилвый эфир, поскольку средняя молярная масса больше массы диметилового, но меньше массы метилэтилового эфира: $M(\text{CH}_3\text{OCH}_3) = 46 \text{ г/моль}$, $M(\text{C}_2\text{H}_5\text{OCH}_3) = 60 \text{ г/моль}$. Средняя молярная масса второй смеси:

$$M_{\text{ср.2}} = \frac{\rho RT}{p} = \frac{2.2282 \cdot 8.314 \cdot 424}{101.3} = 77.54 \text{ г/моль}.$$

Введем обозначение $\varphi(\text{CH}_3\text{OCH}_3)_{\text{смесь1}} = x$, тогда $\varphi(\text{C}_n\text{H}_{2n+2}\text{O})_{\text{смесь1}} = 1 - x$. По условию, $\varphi(\text{CH}_3\text{OCH}_3)_{\text{смесь2}} = 1 - x$, $\varphi(\text{C}_n\text{H}_{2n+2}\text{O})_{\text{смесь2}} = x$. Запишем выражения для средних масс:

$$\begin{cases} 46x + (14n + 18)(1 - x) = 56.53, \\ 46(1 - x) + (14n + 18)x = 77.54. \end{cases}$$

Решение системы уравнений дает $n = 5$, $x = 0.75$. Следовательно, второй эфир содержит пять атомов углерода. Поскольку именно он содержит асимметрический атом углерода, это – 2-метоксибутан:



Ответ: первая смесь содержит 75% диметилового эфира и 25% 2-метоксибутана (втор-бутилметилового эфира), вторая смесь содержит 25% диметилового эфира и 75% 2-метоксибутана.

6. При повышении температуры от 20 до 35°C и одновременном увеличении объема реакционной смеси начальная скорость химической реакции $2\text{NO}_2 \rightarrow 2\text{NO} + \text{O}_2$ не изменилась. Рассчитайте, во сколько раз увеличили объем системы, если энергия активации этой реакции составляет 112.6 кДж/моль. (12 баллов)

Решение. Пусть изначально молярная концентрация NO_2 равнялась c_1 , тогда после увеличения объема в x раз концентрация уменьшилась в x раз: $c_2 = c_1/x$. Запишем выражения для начальной скорости реакции до и после изменения объема:

$$w_1 = k_1 c_1^2, \quad w_2 = k_2 \left(\frac{c_1}{x} \right)^2$$

По условию задачи $w_1 = w_2$ или

$$k_1 c_1^2 = k_2 \left(\frac{c_1}{x} \right)^2,$$

откуда можно выразить $x = \sqrt{\frac{k_2}{k_1}}$.

Отношение констант скорости можно выразить, применив уравнение Аррениуса:

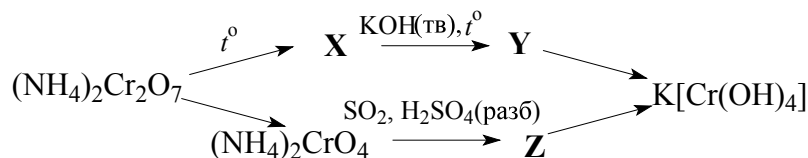
$$\ln \left(\frac{k_2}{k_1} \right) = \frac{E_a (T_2 - T_1)}{RT_1 T_2}$$

$$\frac{k_2}{k_1} = \exp \left(\frac{E_a (T_2 - T_1)}{RT_1 T_2} \right) = \exp \left(\frac{112600 \cdot (308 - 293)}{8.314 \cdot 308 \cdot 293} \right) = 9.5$$

$$x = \sqrt{\frac{k_2}{k_1}} \approx 3$$

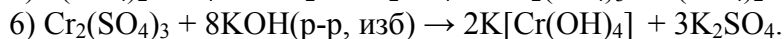
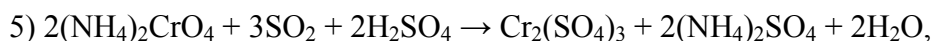
Ответ: в 3 раза.

7. Приведите уравнения реакций, соответствующих следующей последовательности превращений (все неизвестные вещества содержат хром), укажите условия проведения реакций. (12 баллов).



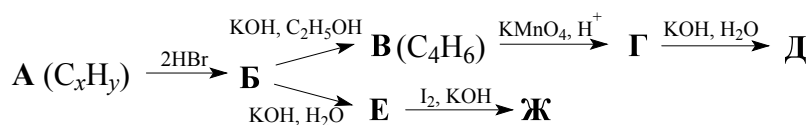
Решение.

- $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \xrightarrow{t^\circ} \text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{N}_2 \uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$,
- $\text{Cr}_2\text{O}_3 + 2\text{KOH} \xrightarrow{t^\circ} 2\text{KCrO}_2 + \text{H}_2\text{O}$,
- $\text{KCrO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{K[Cr(OH)}_4\text{]}$,
- $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 2\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2(\text{NH}_4)_2\text{CrO}_4 + \text{H}_2\text{O}$,

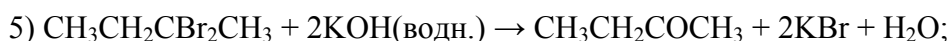
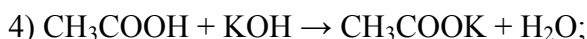
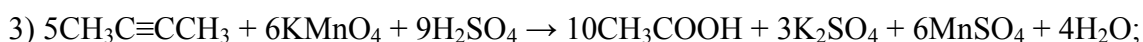
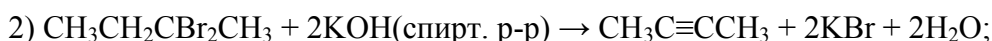
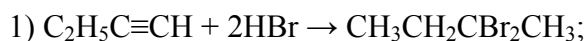


Ответ: **X** – Cr_2O_3 , **Y** – KCrO_2 , **Z** – $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$.

8. Расшифруйте следующую схему превращений, если известно, что соединения **A** и **B** – изомеры, соединения **D** и **Ж** – гомологи. Напишите уравнения протекающих реакций, указав структурные формулы соединений **A–Ж**. (12 баллов)



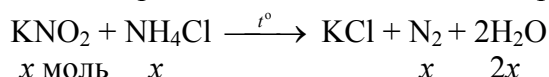
Решение.



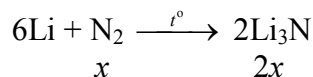
9. Эквимольную смесь нитрита калия и хлорида аммония разделили на две равные части. Газообразные продукты прокаливания первой части пропустили через хлоркальциевую трубку, а затем – над нагретым металлическим литием, при этом образовалось 2.1 г зеленовато-черного вещества **A**. Ко второй части смеси добавили избыток подкисленного серной кислотой раствора иодида калия, при этом образовался бурый раствор **B**. Установите состав вещества **A**, рассчитайте, на сколько увеличилась масса хлоркальциевой трубки, а также определите объем раствора сульфита калия с концентрацией 0.25 моль/л, который потребуется для полного обесцвечивания раствора **B**.

(16 баллов)

Решение. При прокаливании первой части исходной смеси протекает реакция



Газообразные продукты – пары воды и азот. Вода в количестве $2x$ моль поглощается безводным хлористым кальцием, x моль азота взаимодействует с литием:



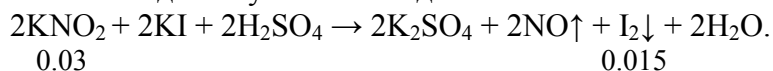
Вещество **A** – нитрид лития Li_3N , который образуется в количестве

$$v(\text{Li}_3\text{N}) = \frac{2.1}{35} = 0.06 \text{ моль}.$$

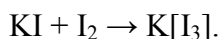
Следовательно, $x = 0.03$ моль, и при прокаливании выделилось 0.03 моль азота и 0.06 моль воды. Увеличение массы хлоркальциевой трубки составляет

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 0.06 \cdot 18 = 1.08 \text{ г}.$$

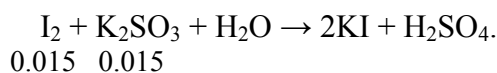
С иодидом калия взаимодействует только один компонент смеси – KNO_2 :



Получившийся раствор **B** имеет бурый цвет, так как I_2 с избытком ионов I^- образует окрашенный комплексный ион $[\text{I}_3]^-$:



Обесцвечивание раствора:



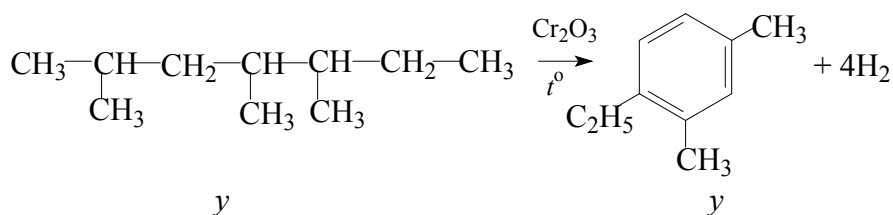
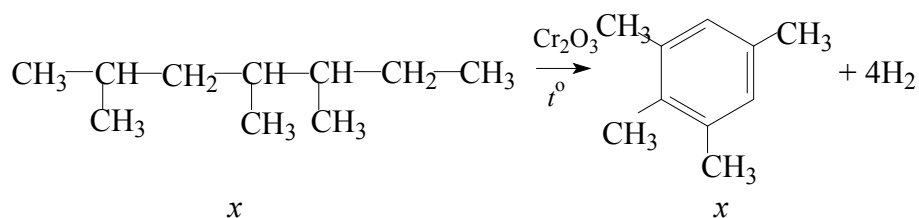
Для полного обесцвечивания раствора **B** потребуется следующий объем 0.25 М раствора сульфита калия:

$$V = \frac{v}{c} = \frac{0.015}{0.25} = 0.06 \text{ л} = 60 \text{ мл.}$$

Ответ: 1.08 г, 60 мл.

10. При нагревании 2,4,5-триметилгептана до 450°C в присутствии оксида хрома получили 20.1 г смеси ароматических углеводородов. Смесь обработали избытком подкисленного раствора $KMnO_4$, при этом выделилось 1.12 л газа (н. у.). Образовавшиеся органические вещества отделили и высушили. Установите качественный и количественный состав полученной смеси. На сколько уменьшится масса данной смеси при ее нагревании до 200°C? (16 баллов)

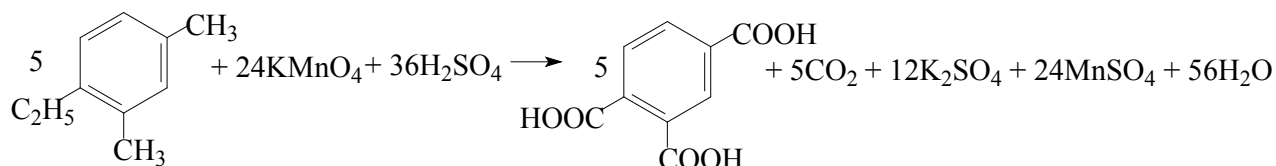
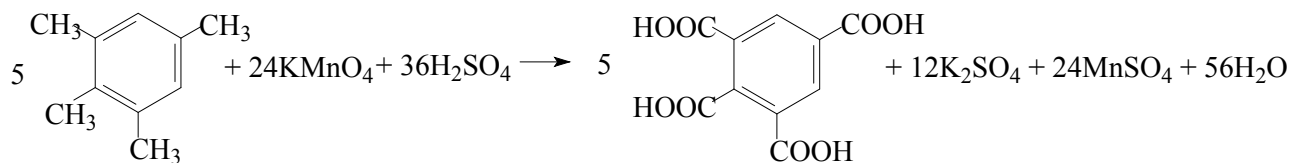
Решение. Найдем количества ароматических углеводородов, полученных дегидроциклизацией исходного вещества:



$$v(C_{10}H_{14}) = \frac{20.1}{134} = 0.15 \text{ моль,}$$

$$x + y = 0.15.$$

Реакции окисления полученных ароматических углеводородов:



Количество выделившегося углекислого газа:

$$v(CO_2) = \frac{1.12}{22.4} = 0.05 \text{ моль.}$$

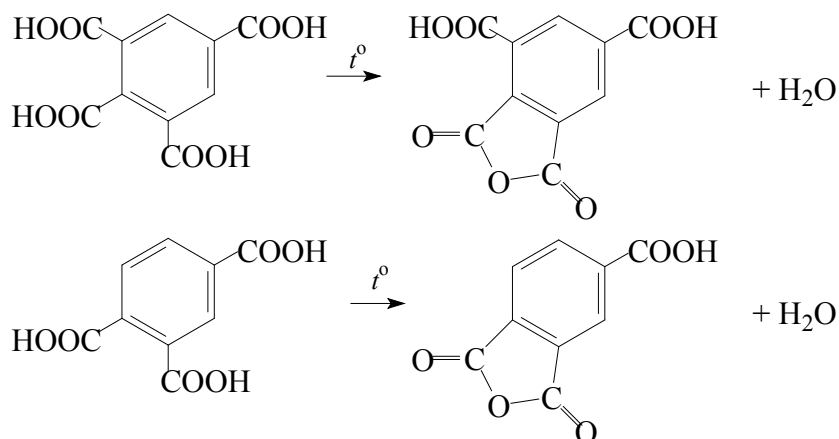
Отсюда $y = 0.05$, $x = 0.1$.

Массы кислот:

$$m(\text{C}_{10}\text{H}_6\text{O}_8) = 0.1 \cdot 254 = 25.4 \text{ г,}$$

$$m(\text{C}_9\text{H}_6\text{O}_6) = 0.05 \cdot 210 = 10.5 \text{ г.}$$

При нагревании смеси кислот происходит образование ангидридов:



$$v(\text{H}_2\text{O}) = 0.1 + 0.05 = 0.15 \text{ моль,}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 0.15 \cdot 18 = 2.7 \text{ г.}$$

Ответ: бензол-1,2,3,5-тетракарбоновой кислоты 0.1 моль (25.4 г), бензол-1,2,4-трикарбоновой кислоты 0.05 моль (10.5 г); 2.7 г.

Вариант 2

1. Приведите химические формулы следующих веществ и назовите их в соответствии с правилами ИЮПАК: кварц, красная кровяная соль, поташ, щавелевая кислота. (4 балла)

Решение:

SiO_2 оксид кремния(IV), диоксид кремния

$\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ гексацианоферрат(III) калия

K_2CO_3 карбонат калия

$\text{HOOC}-\text{COOH}$ этандиовая кислота

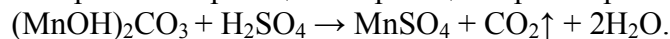
2. Установите формулу соединения, которое содержит марганец (53.92 масс.%), водород (0.98 масс.%), углерод (5.88 масс.%) и кислород, и напишите уравнение его реакции с раствором серной кислоты. (6 баллов)

Решение. Неизвестное соединение имеет формулу $\text{Mn}_x\text{H}_y\text{C}_z\text{O}_k$. Определим содержание кислорода в нем:

$$100 - 53.92 - 0.98 - 5.88 = 39.22, \text{ т.е. } 39.22 \text{ масс.}\%$$

$$x : y : z : k = \frac{53.92}{55} : \frac{0.98}{1} : \frac{5.88}{12} : \frac{39.22}{16} = 0.98 : 0.98 : 0.49 : 2.45 = 2 : 2 : 1 : 5.$$

Простейшая формула соединения – $\text{Mn}_2\text{H}_2\text{CO}_5$. Такой формуле отвечает соединение $(\text{MnOH})_2\text{CO}_3$ – основной карбонат марганца. Его реакция с раствором серной кислоты:

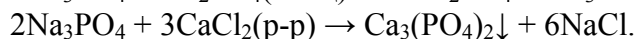
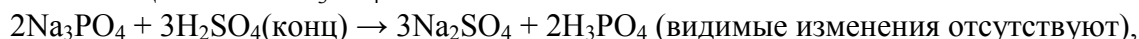


Ответ: $(\text{MnOH})_2\text{CO}_3$.

3. В трех бюксах находятся белые кристаллические вещества NaBr , Na_3PO_4 и Na_2SO_3 , зашифрованные под номерами I – III. Используя данные таблицы, определите, какой номер соответствует каждой из этих солей, запишите уравнения всех реакций. (6 баллов)

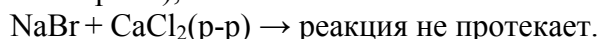
Соль Реактив	I	II	III
H ₂ SO ₄ (конц)	Нет видимых изменений	Выделение газа, изменение окраски	Выделение газа
CaCl ₂ (р-р)	Образование осадка	Нет видимых изменений	Образование осадка

Решение. Вещество I – Na₃PO₄.

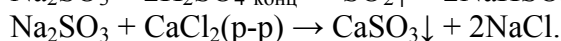
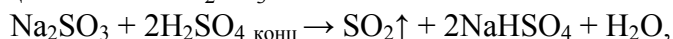


Вещество II – NaBr.

$2\text{NaBr} + 3\text{H}_2\text{SO}_4(\text{конц}) \rightarrow \text{Br}_2 + \text{SO}_2\uparrow + 2\text{NaHSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ (оранжевое окрашивание из-за выделения брома),



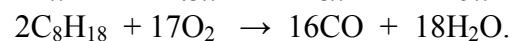
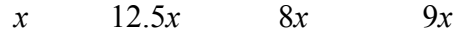
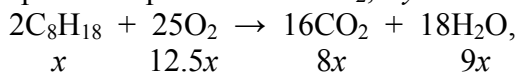
Вещество III – Na₂SO₃.



4. При неполном сгорании бензина в двигателе автомобиля кроме углекислого газа и воды образуется токсичный угарный газ. Будем считать, что бензин состоит только из октана (плотность октана 0.70 кг/л). При сгорании 16.0 л такого бензина образовалось 49.0 кг продуктов сгорания. Рассчитайте массы CO, CO₂ и H₂O, образовавшихся при этом. Какова масса кислорода, потребовавшегося для сгорания? (8 баллов)

Решение. Масса сгоревшего октана равна $m(\text{C}_8\text{H}_{18}) = V \cdot \rho = 16.0 \cdot 0.700 = 11.2$ кг.

Пусть x моль октана сгорело с образованием CO₂, а y моль – с образованием CO. Тогда



Масса октана равна $m(\text{C}_8\text{H}_{18}) = 114(x+y)$, массы продуктов:

$$m(\text{CO}_2) = 44 \cdot 8x = 352x,$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 18 \cdot 9(x+y) = 162(x+y),$$

$$m(\text{CO}) = 28 \cdot 8y = 224y.$$

Общая масса продуктов равна $514x + 386y$. Получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} 114(x+y) = 11200, \\ 514x + 386y = 49000, \end{cases}$$

решение которой дает $x = 86.5$, $y = 11.7$.

Тогда массы продуктов:

$$m(\text{CO}_2) = 352x = 30.5 \text{ кг},$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 162(x+y) = 15.9 \text{ кг},$$

$$m(\text{CO}) = 224y = 2.6 \text{ кг}.$$

Масса кислорода равна

$$m(\text{O}_2) = m(\text{продуктов}) - m(\text{C}_8\text{H}_{18}) = 49 - 11.2 = 37.8 \text{ кг}.$$

Ответ: $m(\text{CO}_2) = 30.5$ кг, $m(\text{H}_2\text{O}) = 15.9$ кг, $m(\text{CO}) = 2.6$ кг, $m(\text{O}_2) = 37.8$ кг.

5. Плотность газообразной смеси двух спиртов, относящихся к гомологическому ряду насыщенных алифатических спиртов, при 175°C и 1 атм равна 1.0993 г/л. Плотность другой смеси тех же спиртов равна 1.7850 г/л (условия те же). Объемная доля одного спирта в первой смеси равна объемной доле другого спирта во второй смеси. Установите качественный и количественный состав каждой смеси (в мольных %), если известно, что один из спиртов проявляет оптическую активность. (8 баллов)

Решение. Определим среднюю молярную массу первой смеси:

$$M_{\text{ср.1}} = \frac{\rho RT}{p} = \frac{1.0993 \cdot 8.314 \cdot 448}{101.3} = 40.42 \text{ г/моль.}$$

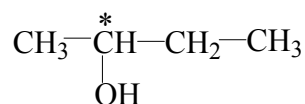
В смеси присутствует метанол, поскольку средняя молярная масса больше массы метанола, но меньше массы этанола: $M(\text{CH}_3\text{OH}) = 32 \text{ г/моль}$, $M(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 46 \text{ г/моль}$. Средняя молярная масса второй смеси:

$$M_{\text{ср.2}} = \frac{\rho RT}{p} = \frac{1.7850 \cdot 8.314 \cdot 448}{101.3} = 65.63 \text{ г/моль.}$$

Введем обозначение $\varphi(\text{CH}_3\text{OH})_{\text{смесь1}} = x$, тогда $\varphi(\text{C}_n\text{H}_{2n+2}\text{O})_{\text{смесь1}} = 1 - x$. По условию, $\varphi(\text{CH}_3\text{OH})_{\text{смесь2}} = 1 - x$, $\varphi(\text{C}_n\text{H}_{2n+2}\text{O})_{\text{смесь2}} = x$. Запишем выражения для средних масс:

$$\begin{cases} 32x + (14n + 18)(1 - x) = 40.42, \\ 32(1 - x) + (14n + 18)x = 65.63. \end{cases}$$

Решение системы уравнений дает $n = 4$, $x = 0.8$. Следовательно, второй спирт содержит четыре атома углерода. Поскольку именно он содержит асимметрический атом углерода, это бутанол-2:



Ответ: первая смесь содержит 80% метанола и 20% бутанола-2, вторая смесь содержит 20% метанола и 80% бутанола-2.

6. Энергия активации газофазной реакции $2\text{NO} + \text{Br}_2 \rightarrow 2\text{NOBr}$ равна 5.44 кДж/моль. При увеличении исходного объема реакционной смеси вдвое и одновременном повышении температуры начальная скорость реакции уменьшилась в 7 раз. До какой температуры была нагрета смесь, если ее начальная температура составляла 20°C? (12 баллов)

Решение. Пусть начальные молярные концентрации равнялись $c(\text{NO})_1$ и $c(\text{Br}_2)_1$. после увеличения объема вдвое концентрации вдвое уменьшатся:

$$c(\text{NO})_2 = \frac{1}{2} c(\text{NO})_1, \quad c(\text{Br}_2)_2 = \frac{1}{2} c(\text{Br}_2)_1.$$

Тогда начальная скорость реакции составляет

$$w_1 = k_1(c(\text{NO})_1)^2 c(\text{Br}_2)_1,$$

а конечная скорость равна

$$w_2 = k_2(c(\text{NO})_2)^2 c(\text{Br}_2)_2 = k_2\left(\frac{1}{2} c(\text{NO})_1\right)^2 \cdot \frac{1}{2} c(\text{Br}_2)_1.$$

По условию,

$$\frac{w_1}{w_2} = 7 = 8 \frac{k_1}{k_2},$$

где константы скорости k_1 и k_2 можно выразить уравнением Аррениуса:

$$k_1 = A \cdot e^{-\frac{E_a}{R \cdot 293}}, \quad k_2 = A \cdot e^{-\frac{E_a}{R \cdot T_2}}.$$

Тогда

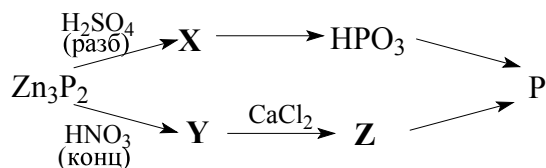
$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{7}{8} = \frac{e^{-\frac{E_a}{R \cdot 293}}}{e^{-\frac{E_a}{R \cdot T_2}}} = e^{\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{293} \right)}.$$

$$\ln\left(\frac{7}{8}\right) = -0.134 = \frac{5440}{8.314} \left(\frac{293 - T_2}{293 T_2} \right),$$

$$T_2 = 311.7 \text{ К.}$$

Ответ: 311.7 К.

7. Приведите уравнения реакций, соответствующих следующей последовательности превращений (все неизвестные вещества содержат фосфор), укажите условия проведения реакций. (12 баллов)



Решение.

- 1) $\text{Zn}_3\text{P}_2 + 3\text{H}_2\text{SO}_4(\text{разб}) \rightarrow 3\text{ZnSO}_4 + 2\text{PH}_3\uparrow$;
- 2) $\text{PH}_3 + 2\text{O}_2 \xrightarrow{t^\circ} \text{HPO}_3 + \text{H}_2\text{O}$;
- 3) $2\text{HPO}_3 + 6\text{C} \xrightarrow{t^\circ} 2\text{P} + \text{H}_2 + 6\text{CO}$;
- 4) $\text{Zn}_3\text{P}_2 + 22\text{HNO}_3(\text{конц}) \rightarrow 3\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{H}_3\text{PO}_4 + 16\text{NO}_2\uparrow + 8\text{H}_2\text{O}$;
- 5) $2\text{H}_3\text{PO}_4 + 3\text{CaCl}_2(\text{изб}) \rightarrow \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\downarrow + 6\text{HCl}$;
- 6) $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 5\text{C} + 3\text{SiO}_2 \xrightarrow{t^\circ} 2\text{P} + 3\text{CaSiO}_3 + 5\text{CO}\uparrow$.

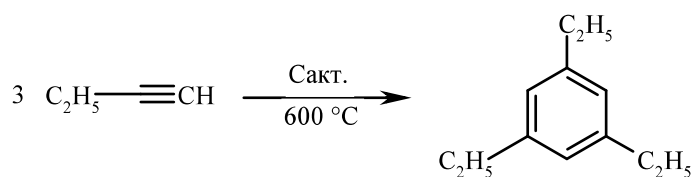
Ответ: X – PH_3 , Y – H_3PO_4 , Z – $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$.

8. Расшифруйте следующую схему превращений, если известно, что соединения А и Д, а также Б и Е – изомеры. Напишите уравнения протекающих реакций, указав структурные формулы соединений А–Ж. (12 баллов)

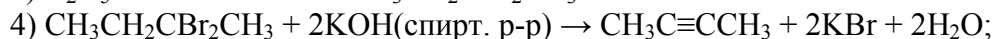
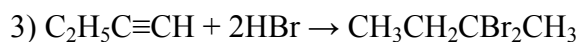
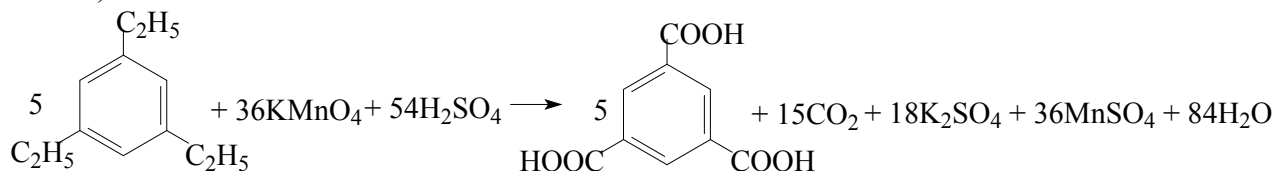


Решение.

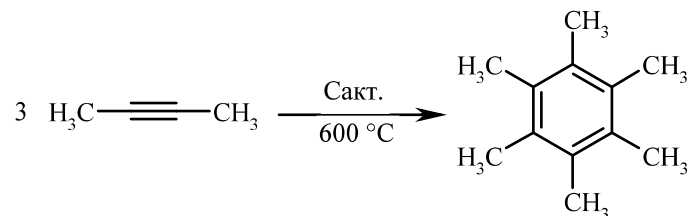
1)



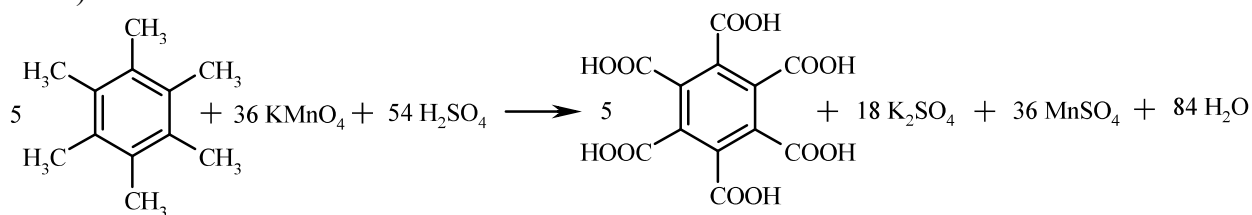
2)



5)

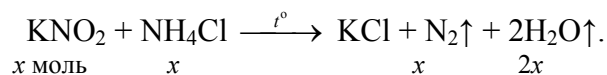


6)



9. Смесь нитрита калия и хлорида аммония, взятых в молярном соотношении 1.5:1, разделили на две равные части. Газообразные продукты прокаливания первой части пропустили через хлоркальциевую трубку, причем ее масса увеличилась на 4.32 г, а затем – над нагретым металлическим литием, при этом образовалось зеленовато-черное вещество **A**. Ко второй части смеси добавили избыток подкисленного серной кислотой раствора иодида калия, при этом образовался бурый раствор **B**. Установите состав и рассчитайте массу вещества **A**, а также определите объем раствора сульфида калия с концентрацией 0.25 моль/л, который потребуется для полного обесцвечивания раствора **B**. (16 баллов)

Решение. При прокаливании первой части смеси протекает реакция:

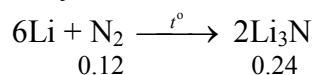


Газообразные продукты – азот и пары воды. Вода поглощается безводным хлористым кальцием, ее количество:

$$v(\text{H}_2\text{O}) = 2x = \frac{m}{M} = \frac{4.32}{18} = 0.24 \text{ моль.}$$

Значит, $x = 0.12$ моль.

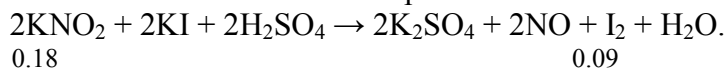
Выделившийся азот взаимодействует с литием:



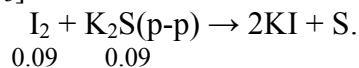
Вещество **A** – нитрид лития Li_3N , его масса равна

$$m(\text{Li}_3\text{N}) = 0.24 \cdot 35 = 8.4 \text{ г.}$$

С иодидом калия взаимодействует только один компонент смеси – KNO_2 . В каждой части смеси содержится $0.12 \cdot 1.5 = 0.18$ моль нитрита калия.



Получившийся раствор **B** имеет бурый цвет, так как I_2 с избытком ионов Γ образует окрашенный комплексный ион $[\text{I}_3]^-$.



Для полного обесцвечивания раствора **B** потребуется следующий объем раствора сульфида калия:

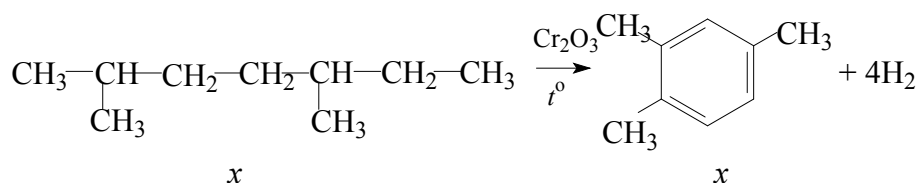
$$V = \frac{v}{c} = \frac{0.09}{0.25} = 0.36 \text{ л} = 360 \text{ мл.}$$

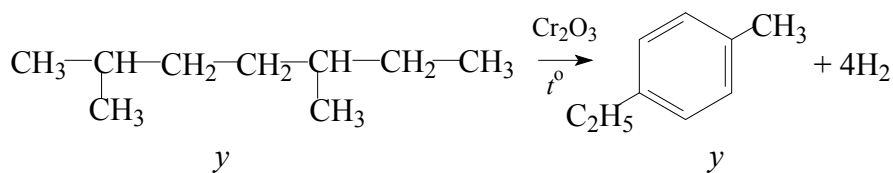
Ответ: 8.4 г Li_3N , 360 мл.

10. При нагревании 2,5-диметилгептана до 450°C в присутствии оксида хрома получили 24 г смеси ароматических углеводородов. Смесь обработали избытком подкисленного раствора KMnO_4 , при этом выделилось 1.12 л газа (н. у.). Образовавшиеся органические вещества отделили и высушили. Установите качественный и количественный состав полученной смеси. На сколько уменьшится масса данной смеси при ее нагревании до 200°C ? (16 баллов)

(16 баллов)

Решение. Найдем количества ароматических углеводородов, полученных дегидроциклизацией исходного вещества:

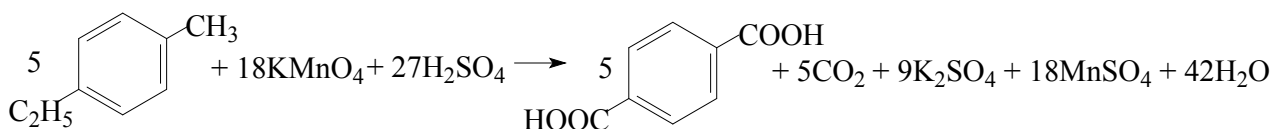
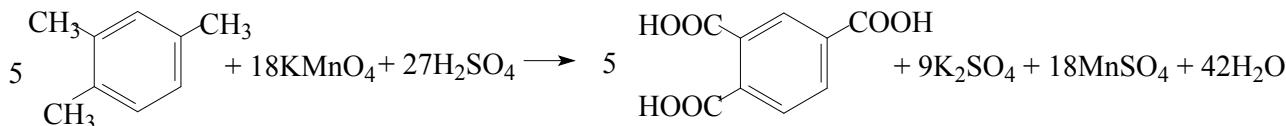




$$v(\text{C}_9\text{H}_{12}) = \frac{24}{120} = 0.2 \text{ моль,}$$

$$x + y = 0.2.$$

Реакции окисления:



Количество углекислого газа:

$$v(\text{CO}_2) = \frac{1.12}{22.4} = 0.05 \text{ моль.}$$

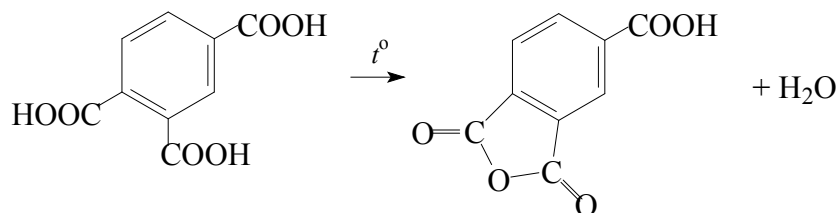
$$y = 0.05, x = 0.15.$$

Массы кислот:

$$m(\text{C}_9\text{H}_6\text{O}_6) = 0.15 \cdot 210 = 31.5 \text{ г,}$$

$$m(\text{C}_8\text{H}_6\text{O}_4) = 0.05 \cdot 166 = 8.3 \text{ г.}$$

При нагревании смеси кислот происходит образование единственного ангидрида:



$$v(\text{H}_2\text{O}) = 0.15 \text{ моль,}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 0.15 \cdot 18 = 2.7 \text{ г.}$$

Ответ: бензол-1,2,4-трикарбоновой кислоты 0.15 моль (31.5 г), бензол-1,4-дикарбоновой (терефталевой) кислоты 0.05 моль (8.3 г); 2.7 г.

Решения заданий для 7-9 классов

1. Напишите уравнение реакции между двумя газами, в результате которой образуются жидкость (при обычных условиях) и газ. (4 балла)

Решение. Возможно много вариантов решения, например:

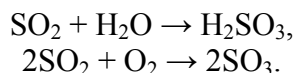


2. Заряд ядра элемента в 2 раза больше номера его группы в периодической системе. Какой это элемент? Сколько электронов в его атоме? (4 балла)

Ответ: бериллий Be ($Z = 4$, II группа). Атом бериллия содержит 4 электрона.

3. Приведите пример вещества, которое может вступать в реакции соединения и с кислородом, и с водой. Напишите уравнения этих реакций. (6 баллов)

Решение. Можно привести несколько подходящих веществ, например SO_2 , P_2O_3 , BaO .
Уравнения реакций:



4. К воде добавили неизвестную жидкость и получили 10%-ный раствор. В этом растворе на одну молекулу жидкости приходится 16 молекул воды. Найдите молекулярную массу жидкости. (6 баллов)

Решение. Масса 16 моль воды $16 \cdot 18 = 288$ г, что составляет 90%, а один моль жидкости весит M г, и это 10%. Решение пропорции дает

$$M = \frac{288}{9} = 32 \text{ г/моль}.$$

Ответ: 32 г/моль.

5. Озон – очень ядовитый газ. Его предельно допустимое содержание в воздухе составляет всего 0.03 мг/м^3 . При таком содержании сколько молекул озона приходится на один миллиард молекул воздуха (н. у.)? (10 баллов)

Решение. Возьмем 1 м^3 воздуха. Количества воздуха и озона:

$$\begin{aligned}v(\text{возд}) &= 1000 / 22.4 = 44.6 \text{ моль}, \\ v(\text{O}_3) &= 0.03 \cdot 10^{-3} / 48 = 6.25 \cdot 10^{-7} \text{ моль}.\end{aligned}$$

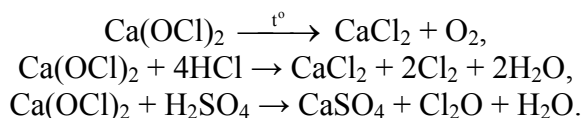
Отношение чисел молекул:

$$\begin{aligned}N(\text{O}_3) : N(\text{возд}) &= v(\text{O}_3) : v(\text{возд}), \\ N(\text{O}_3) : N(\text{возд}) &= 1.4 \cdot 10^{-8}.\end{aligned}$$

Ответ: 14 молекул озона на миллиард молекул воздуха.

6. Д.И. Менделеев в учебнике «Основы химии» писал: «Итак, в белильной извести нужно признать существование по крайней мере двух веществ: хлористого кальция и вещества, подобного водной извести, в которой водород замещен хлором. Это вещество при различных обстоятельствах может разлагаться или с выделением кислорода, или с выделением хлора, или с выделением окиси хлора». Что такое белильная известь? Какое вещество имел в виду Менделеев? Предложите уравнения реакций, характеризующих описанные превращения. (12 баллов)

Решение. Белильная известь – CaOCl_2 , или $\text{CaCl}_2 \cdot \text{Ca}(\text{OCl})_2$ (хлорид-гипохлорит кальция). Уравнения реакций с этим веществом:



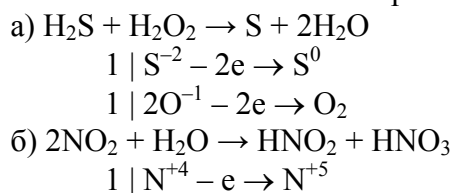
(Если вместо $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ правильные уравнения реакций записаны с CaOCl_2 , ставится полный балл).

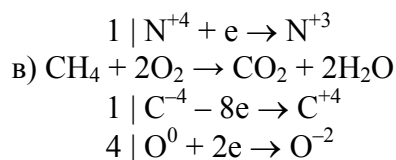
7. Напишите уравнения окислительно-восстановительных реакций, в которых:

- атомы и окислителя, и восстановителя имеют отрицательную степень окисления;
- атомы и окислителя, и восстановителя имеют положительную степень окисления;
- атом восстановителя отдает больше электронов, чем принимает атом окислителя.

Для каждой реакции приведите схему электронного баланса. (12 баллов)

Решение. Возможно много вариантов решения, например:





8. В состав свинцовых белил входит неорганическая соль свинца, содержащая также углерод, водород и кислород. Содержание самого тяжелого элемента в этой соли равно 20%, а самого легкого – 13.3%. О каких процентах идет речь – о массовых или атомных? Объясните. Установите формулу соли, если доли двух других элементов отличаются в 4 раза. Напишите уравнение термического разложения соли (в инертной атмосфере) и ее реакции с азотной кислотой. (16 баллов)

Решение. Свинец намного тяжелее остальных элементов, поэтому его массовая доля должна быть большой, а в условии – всего 20%, следовательно, речь идет о мольных (атомных) долях. В неорганической соли кислорода должно быть больше, чем углерода (в 4 раза). Найдем мольные доли кислорода и углерода:

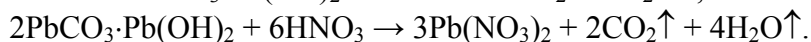
$$\chi(O) = 4/5 \cdot (100\% - 20\% - 13.3\%) = 53.3\%,$$

$$\chi(C) = 1/5 \cdot (100\% - 20\% - 13.3\%) = 13.3\%.$$

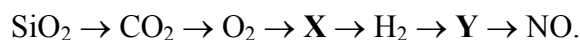
$$Pb : C : O : H = 20 : 13.3 : 53.3 : 13.3 = 3 : 2 : 8 : 2,$$

формула соли – $Pb_3C_2O_8H_2$, или $2PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$.

Уравнения реакций:

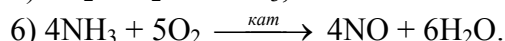
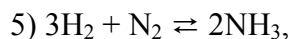
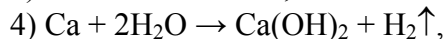
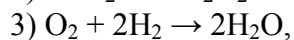
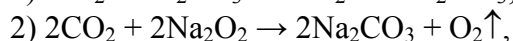
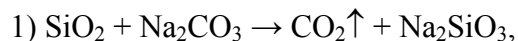


9. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно реализовать следующие превращения:



Определите неизвестные вещества. (12 баллов)

Решение.



Ответ: X – H_2O , Y – NH_3 .

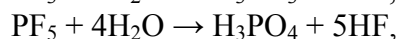
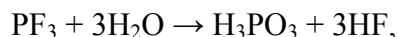
10. Элемент X образует три газообразных соединения со фтором. Самое легкое из них – A – в 2 раза тяжелее углекислого газа, два других – B и C – содержат одинаковое число атомов. Газы A и C реагируют с водой, образуя по две кислоты. C при сильном нагревании превращается в A. Газ A при нагревании с мелкодисперсным никелем дает летучую жидкость, пары которой в 4.67 раза тяжелее A. Установите элемент X, формулы газов A – C и напишите уравнения всех реакций, о которых идет речь в задании. (18 баллов)

Решение. Определи молярную массу самого легкого соединения со фтором:

$$M(A) = 2 \cdot 44 = 88 \text{ г/моль.}$$

Такую молярную массу имеют CF_4 и PF_3 , однако CF_4 не реагирует с водой. Значит, X – это фосфор, а соединение A – PF_3 . По шесть атомов содержат PF_5 и P_2F_4 , из них при реакции с водой только две кислоты дает PF_5 , следовательно, B – P_2F_4 , C – PF_5 .

Уравнения реакций:





Установим состав легколетучего жидкого соединения никеля с PF_3 :

$$M(\text{Ni}(\text{PF}_3)_n) = 4.67 \cdot 88 = 411,$$

значит, $n = 4$:

