

Олимпиада «Ломоносов» по химии
Отборочный тур
5-9 классы

Задание 1 (8 баллов)

1. Кристаллогидрат сульфата магния выдержали в вакууме при небольшом нагревании. В результате масса твердого вещества уменьшилась на 39.5%. Определите формулы исходного и конечного веществ. Ответ подтвердите расчетом.

Решение. Частичное разложение кристаллогидрата:



$$18(n - m) = 0.395 \cdot (120 + 18n)$$

$$10.89n - 18m = 47.4$$

$$n - 1.65m = 4.35$$

$$n = 6, m = 1.$$

Ответ. $\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

2. Кристаллогидрат сульфата железа(III) выдержали в вакууме при небольшом нагревании. В результате масса твердого вещества уменьшилась на 25.6%. Определите формулы исходного и конечного веществ. Ответ подтвердите расчетом.

Решение. Частичное разложение кристаллогидрата:



$$18(n - m) = 0.256 \cdot (400 + 18n)$$

$$13.39n - 18m = 102.4$$

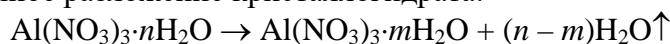
$$n - 1.35m = 7.65$$

$$n = 9, m = 1.$$

Ответ. $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

3. Кристаллогидрат нитрата алюминия выдержали в вакууме при небольшом нагревании. В результате масса твердого вещества уменьшилась на 14.4%. Определите формулы исходного и конечного веществ. Ответ подтвердите расчетом.

Решение. Частичное разложение кристаллогидрата:



$$18(n - m) = 0.144 \cdot (213 + 18n)$$

$$15.41n - 18m = 30.67$$

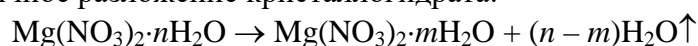
$$n - 1.17m = 1.99$$

$$n = 9, m = 6.$$

Ответ. $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

4. Кристаллогидрат нитрата магния выдержали в вакууме при небольшом нагревании. В результате масса твердого вещества уменьшилась на 28.3%. Определите формулы исходного и конечного веществ. Ответ подтвердите расчетом.

Решение. Частичное разложение кристаллогидрата:



$$18(n - m) = 0.283 \cdot (148 + 18n)$$

$$12.91n - 18m = 41.88$$

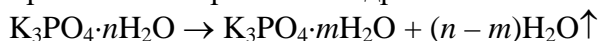
$$n - 1.39m = 3.22$$

$$n = 6, m = 2.$$

Ответ. $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

5. Кристаллогидрат фосфата калия выдержали в вакууме при небольшом нагревании. В результате масса твердого вещества уменьшилась на 28.9%. Определите формулы исходного и конечного веществ. Ответ подтвердите расчетом.

Решение. Частичное разложение кристаллогидрата:



$$18(n - m) = 0.289 \cdot (212 + 18n)$$

$$12.80n - 18m = 61.27$$

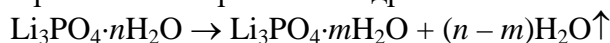
$$n - 1.40m = 4.79$$

$$n = 9, m = 3.$$

Ответ. $\text{K}_3\text{PO}_4 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ и $\text{K}_3\text{PO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$.

6. Кристаллогидрат фосфата лития выдержали в вакууме при небольшом нагревании. В результате масса твердого вещества уменьшилась на 59.6%. Определите формулы исходного и конечного веществ. Ответ подтвердите расчетом.

Решение. Частичное разложение кристаллогидрата:



$$18(n - m) = 0.596 \cdot (116 + 18n)$$

$$7.27n - 18m = 69.14$$

$$n - 2.48m = 9.51$$

$$n = 12, m = 1.$$

Ответ. $\text{Li}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Li}_3\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Задание 2 (12 баллов)

1. Бинарное соединение представляет собой желто-зеленый газ, плотность которого равна 3.00 г/л при -25°C и 1 атм. При комнатной температуре это соединение разлагается на два газообразных вещества – простое (входит в состав воздуха) и сложное, причем полученная смесь в 1.4 раза тяжелее воздуха. Установите формулу газа и напишите уравнение реакции разложения.

Решение. Определим молярную массу желто-зеленого газа:

$$M = \rho RT / p = 3.00 \cdot 8.314 \cdot 248 / 101.3 = 61 \text{ г/моль.}$$

После разложения образуется смесь газов со средней молярной массой

$$M_{\text{ср}} = 29 \cdot 1.4 = 40.6 \text{ г/моль.}$$

Молярная масса уменьшается в $61 / 40.6 = 1.5$ раза, следовательно, число молекул при разложении увеличивается в 1.5 раза.

Всем условиям задачи удовлетворяет FN_3 – азид фтора. При его разложении образуются азот и дифторид диазота:



Ответ. FN_3 .

2. Бинарное соединение представляет собой бесцветный газ, плотность которого равна 4.00 г/л при 56°C и 1 атм. При сильном нагревании это соединение разлагается на два вещества – простое (твердое при обычных условиях, входит в состав земной коры) и сложное, которое в 5.03 раз тяжелее воздуха. Установите формулу газа и напишите уравнение реакции разложения.

Решение. Определим молярную массу бесцветного газа:

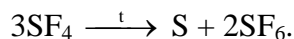
$$M = \rho RT / p = 4.00 \cdot 8.314 \cdot 329 / 101.3 = 108 \text{ г/моль.}$$

После разложения образуется твердое простое вещество и газообразное сложное вещество с молярной массой

$$M = 29 \cdot 5.03 = 146 \text{ г/моль.}$$

Молярная масса увеличивается на 38 г/моль, что соответствует двум молям F.

Всем условиям задачи удовлетворяет SF₄ – тетрафторид серы. При его разложении сера диспропорционирует:



Ответ. SF₄.

3. Бинарное соединение представляет собой бесцветный газ, плотность которого равна 2.00 г/л при –5.0 °С и 1.0 атм. При сильном нагревании это соединение разлагается на два вещества, причем образующаяся смесь на 1% тяжелее воздуха. Установите формулу газа и напишите уравнение реакции разложения.

Решение. Определим молярную массу бесцветного газа:

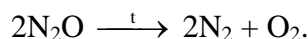
$$M = \rho RT / p = 2.00 \cdot 8.314 \cdot 268 / 101.3 = 44 \text{ г/моль.}$$

После разложения образуется смесь газов со средней молярной массой

$$M_{\text{ср}} = 29 \cdot 1.01 = 29.3 \text{ г/моль.}$$

Молярная масса уменьшается в $44 / 29.3 = 1.5$ раза, следовательно, число молекул при разложении увеличивается в 1.5 раза.

Всем условиям задачи удовлетворяет N₂O – оксид азота(I). При нагревании он разлагается на простые вещества:



Ответ. N₂O.

4. Бинарное соединение представляет собой твердое вещество, которое при небольшом нагревании возгоняется, образуя газ с плотностью 4.00 г/л при 56 °С и 1.0 атм. Это соединение весьма неустойчиво и легко разлагается на два газообразных вещества – простое (входит в состав воздуха) и сложное, причем образующаяся смесь в 1.5 раза тяжелее воздуха. Установите формулу соединения и напишите уравнение реакции разложения.

Решение. Определим молярную массу бинарного соединения:

$$M = \rho RT / p = 4.00 \cdot 8.314 \cdot 329 / 101.3 = 108 \text{ г/моль.}$$

После разложения образуется смесь газов со средней молярной массой

$$M_{\text{ср}} = 29 \cdot 1.5 = 43.5 \text{ г/моль.}$$

Молярная масса уменьшается в $108 / 43.5 = 2.5$ раза, следовательно, число молекул при разложении увеличивается в 2.5 раза.

Всем условиям задачи удовлетворяет N₂O₅ – оксид азота(V). При нагревании он разлагается на кислород и диоксид азота:



Ответ. N₂O₅.

5. Бинарное соединение представляет собой бесцветный газ, плотность которого равна 5.00 г/л при 34 °С и 1.0 атм. При сильном нагревании это соединение разлагается на два газообразных вещества – простое (состоит из двухатомных молекул) и сложное, которое в 3.03 раза тяжелее воздуха. Установите формулу газа и напишите уравнение реакции разложения.

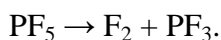
Решение. Определим молярную массу бесцветного газа:

$$M = \rho RT / p = 5.00 \cdot 8.314 \cdot 307 / 101.3 = 126 \text{ г/моль.}$$

После разложения образуется простое вещество и сложное вещество с молярной массой

$$M = 29 \cdot 3.03 = 88 \text{ г/моль.}$$

Молярная масса уменьшается на 38 г/моль, что соответствует простому веществу F_2 . Всем условиям задачи удовлетворяет PF_5 – пentaфторид фосфора. При разложении он превращается в трифторид:



Ответ. PF_3 .

6. Оксид неметалла представляет собой бледно-желтое твердое вещество, устойчивое только при низких температурах. При температуре выше -50°C это соединение разлагается на два газообразных вещества в соотношении 1:1 – простое (входит в состав воздуха) и сложное, причем газовая смесь на 24% тяжелее воздуха. Установите формулу оксида и напишите уравнение реакции разложения.

Решение. Средняя масса газовой смеси составляет

$$M_{\text{cp}} = 29 \cdot 1.24 = 36 \text{ г/моль.}$$

Сумма молярных масс продуктов разложения:

$$M_1 + M_2 = 36 \cdot 2 = 72 \text{ г/моль,}$$

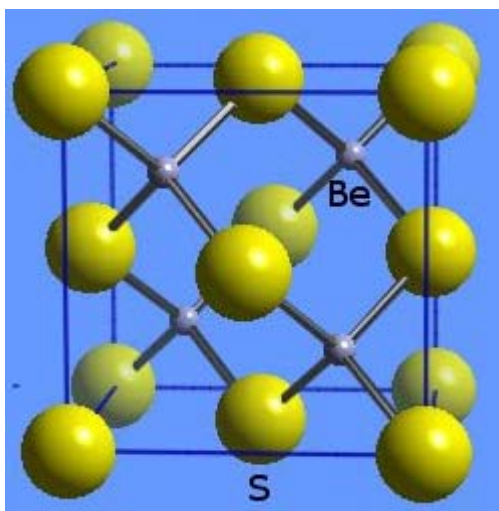
причем одно из этих веществ – простое и входит в состав воздуха, это – либо N_2 , либо O_2 . Если это O_2 , то сложное газообразное вещество содержит кислород и имеет молярную массу 40 г/моль. Такого вещества нет. Следовательно, простое вещество – N_2 ($M_1 = 28$ г/моль), тогда сложное вещество – N_2O ($M_2 = 44$ г/моль). Исходное вещество – нитрозилазид N_4O , или $O=N-N_3$. Уравнение разложения:



Ответ. N_4O .

Задание 3 (12 баллов)

1. На рисунке изображена элементарная ячейка соединения бериллия с серой. По рисунку установите формулу соединения и определите, сколько формульных единиц содержится в ячейке.



Решение. Все 4 атома бериллия находятся внутри ячейки и принадлежат только ей. Атомы серы находятся во всех 8 вершинах и в центрах всех 6 граней. Каждая вершина принадлежит 8 соседним ячейкам, каждая грань – двум. Всего на одну ячейку приходится

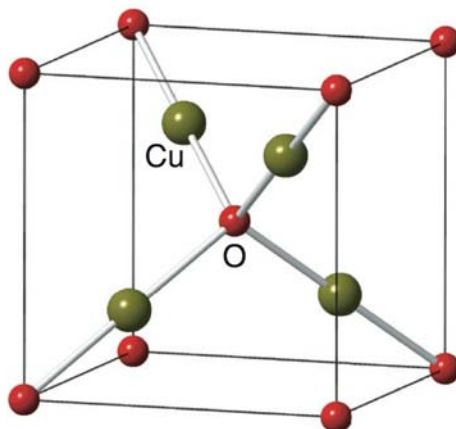
$$8 \cdot (1/8) + 6 \cdot (1/2) = 4 \text{ атома S.}$$

$$N(\text{Be}) / N(\text{S}) = 4 / 4 = 1,$$

следовательно, формула соединения – BeS, а в ячейке содержится 4 формульные единицы.

Ответ. BeS. 4.

2. На рисунке изображена элементарная ячейка соединения меди с кислородом. По рисунку установите формулу соединения и определите, сколько формульных единиц содержится в ячейке.



Решение. Все 4 атома меди находятся внутри ячейки и принадлежат только ей. Атомы кислорода находятся во всех 8 вершинах, а еще один атом – в центре ячейки. Каждая вершина принадлежит 8 соседним ячейкам. Всего на одну ячейку приходится

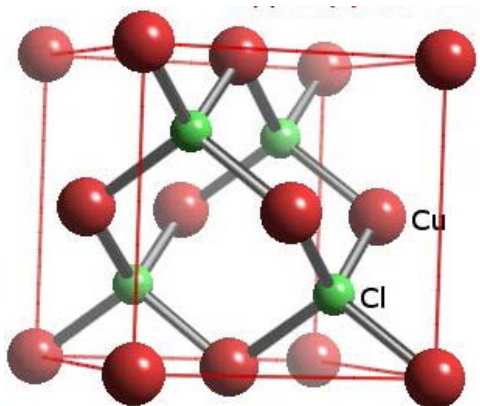
$$8 \cdot (1/8) + 1 = 2 \text{ атома O.}$$

$$N(\text{Cu}) / N(\text{O}) = 4 / 2 = 2,$$

следовательно, формула соединения – Cu₂O, а в ячейке содержится 2 формульные единицы.

Ответ. Cu₂O. 2.

3. На рисунке изображена элементарная ячейка соединения меди с хлором. По рисунку установите формулу соединения и определите, сколько формульных единиц содержится в ячейке.



Решение. Все 4 атома хлора находятся внутри ячейки и принадлежат только ей. Атомы меди находятся во всех 8 вершинах и в центрах всех 6 граней. Каждая вершина принадлежит 8 соседним ячейкам, каждая грань – двум. Всего на одну ячейку приходится

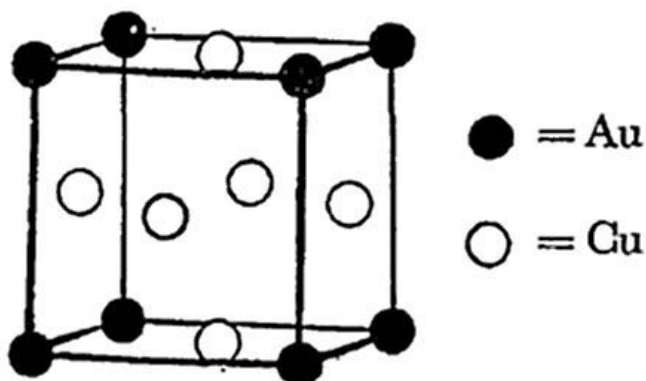
$$8 \cdot (1/8) + 6 \cdot (1/2) = 4 \text{ атома Cu.}$$

$$N(\text{Cl}) / N(\text{Cu}) = 4 / 4 = 1,$$

следовательно, формула соединения – CuCl, а в ячейке содержится 4 формульные единицы.

Ответ. CuCl. 4.

4. На рисунке изображена элементарная ячейка интерметаллического соединения меди с золотом. По рисунку установите формулу соединения и определите, сколько формульных единиц содержится в ячейке.



Решение. Атомы золота находятся во всех 8 вершинах, а каждая вершина принадлежит 8 соседним ячейкам. Всего на одну ячейку приходится $8 \cdot (1/8) = 1$ атом Au. Атомы меди находятся в серединах всех 6 граней, а каждая грань принадлежит 2 соседним ячейкам. Всего на одну ячейку приходится

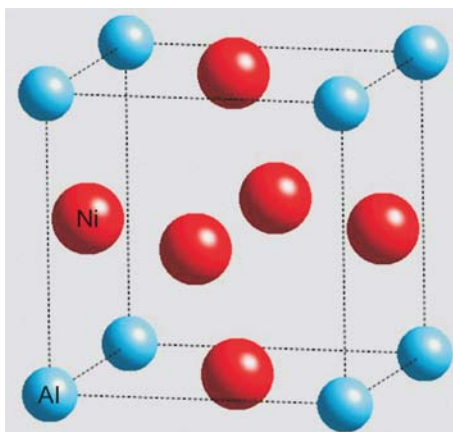
$$6 \cdot (1/2) = 3 \text{ атома Cu.}$$

$$N(\text{Cu}) / N(\text{Au}) = 3 / 1,$$

следовательно, формула соединения – Cu_3Au , а в ячейке содержится одна формульная единица.

Ответ. Cu_3Au . 1.

5. На рисунке изображена элементарная ячейка интерметаллического соединения никеля с алюминием. По рисунку установите формулу соединения и определите, сколько формульных единиц содержится в ячейке.



Решение. Атомы алюминия находятся во всех 8 вершинах, а каждая вершина принадлежит 8 соседним ячейкам. Всего на одну ячейку приходится

$$8 \cdot (1/8) = 1 \text{ атом Al.}$$

Атомы никеля находятся в серединах всех 6 граней, а каждая грань принадлежит 2 соседним ячейкам. Всего на одну ячейку приходится

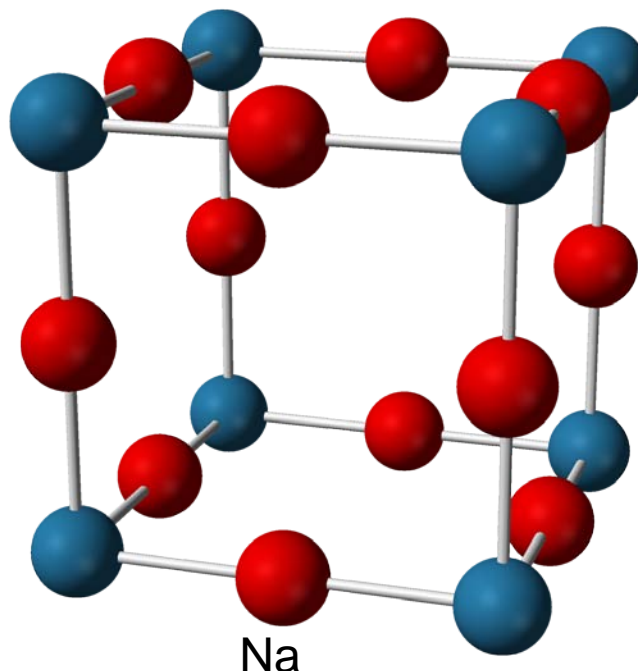
$$6 \cdot (1/2) = 3 \text{ атома Ni.}$$

$$N(\text{Ni}) / N(\text{Al}) = 3 / 1,$$

следовательно, формула соединения – Ni_3Al , а в ячейке содержится одна формульная единица.

Ответ. Ni_3Al . 1.

6. На рисунке изображена элементарная ячейка соединения натрия с азотом. По рисунку установите формулу соединения и определите, сколько формульных единиц содержится в ячейке.



Решение. Атомы азота находятся во всех 8 вершинах, а каждая вершина принадлежит 8 соседним ячейкам. Всего на одну ячейку приходится

$$8 \cdot (1/8) = 1 \text{ атом N.}$$

Атомы натрия находятся в серединах всех 12 ребер, а каждое ребро принадлежит 4 соседним ячейкам. Всего на одну ячейку приходится

$$12 \cdot (1/4) = 3 \text{ атома Na.}$$

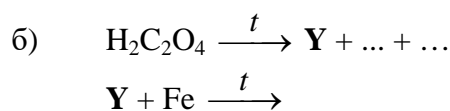
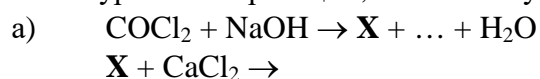
$$N(\text{Na}) / N(\text{N}) = 3 / 1,$$

следовательно, формула соединения – Na_3N , а в ячейке содержится одна формульная единица.

Ответ. Na_3N . 1.

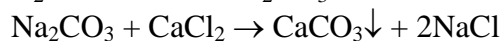
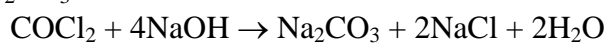
Задание 4 (12 баллов)

1. Напишите уравнения реакций, соответствующих схемам превращений:

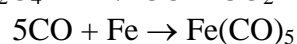
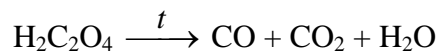


Определите неизвестные вещества.

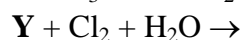
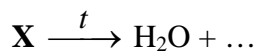
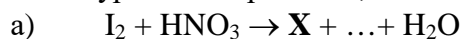
Решение. а) $\text{X} - \text{Na}_2\text{CO}_3$



б) $\text{Y} - \text{CO}$

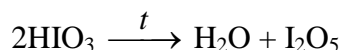


2. Напишите уравнения реакций, соответствующих схемам превращений:

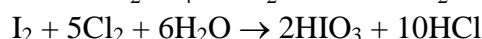
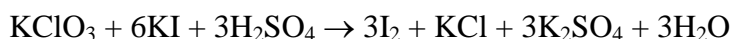


Определите неизвестные вещества.

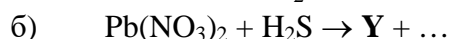
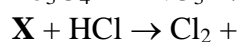
Решение. а) $X - HIO_3$



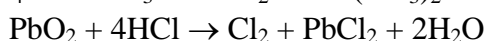
б) $Y - I_2$



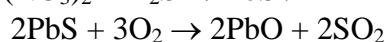
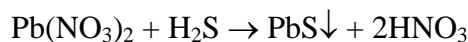
3. Напишите уравнения реакций, соответствующих схемам превращений:



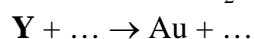
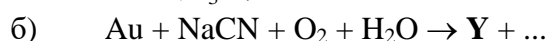
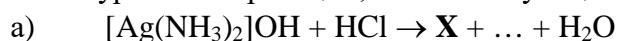
Решение. а) $X - PbO_2$



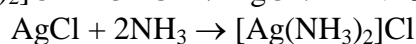
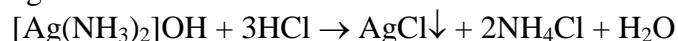
б) $Y - PbS$



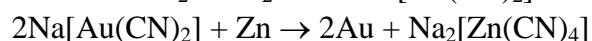
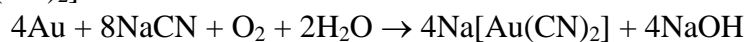
4. Напишите уравнения реакций, соответствующих схемам превращений:



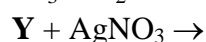
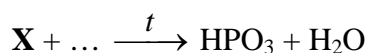
Решение. а) $X - AgCl$



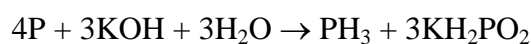
б) $Y - Na[Au(CN)_2]$

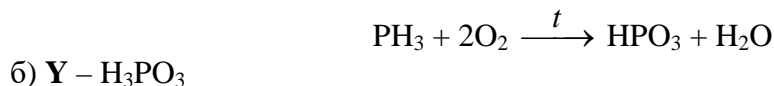


5. Напишите уравнения реакций, соответствующих схемам превращений:

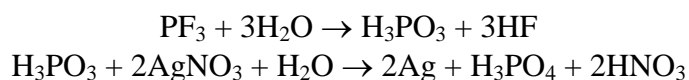


Решение. а) $X - PH_3$

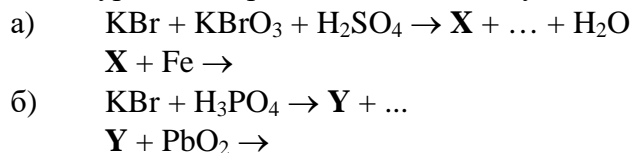




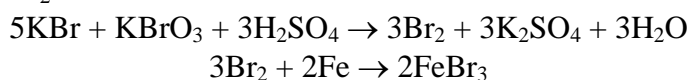
б) Y – H₃PO₃



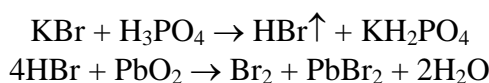
6. Напишите уравнения реакций, соответствующих схемам превращений:



Решение. а) X – Br₂



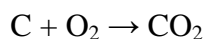
б) Y – HBr



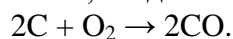
Задание 5 (16 баллов)

1. Образец графита массой 18 г полностью сожгли в атмосфере кислорода в термостатированном сосуде. После окончания реакций давление в сосуде стало больше в 1.25 раза. Что и в каком количестве находится в сосуде после сжигания? Сколько молей кислорода израсходовано?

Решение. Давление увеличилось за счет увеличения числа частиц в газовой фазе. В реакции



число молекул в газовой фазе не изменяется, следовательно, параллельно образовался СО:



$$v(\text{C}) = 18 / 12 = 1.5 \text{ моль.}$$

Пусть в первую реакцию вступило x моль углерода, а во вторую – $(1.5 - x)$ моль.

$$\begin{aligned} v_1(\text{O}_2) &= x, \\ v_2(\text{O}_2) &= 0.5 \cdot (1.5 - x), \\ v(\text{CO}_2) &= x, \\ v(\text{CO}) &= 1.5 - x. \end{aligned}$$

По условию,

$$\frac{x + (1.5 - x)}{x + 0.5 \cdot (1.5 - x)} = 1.25,$$

отсюда

$$x = 0.9 \text{ (моль).}$$

В сосуде образовались 0.9 моль CO₂ и 0.6 моль СО. В реакцию вступило кислорода 0.9 + 0.3 = 1.2 моль.

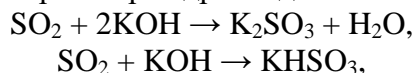
Ответ. 0.9 моль CO₂, 0.6 моль СО. 1.2 моль O₂.

2. Сернистый газ объемом 4.48 л (н.у.) пропустили через раствор гидроксида калия. Газ поглотился полностью, после чего общее количество ионов в растворе уменьшилось на 0.15 моль. Какие ионы и в каком количестве находятся в конечном растворе? Сколько молей щелочи содержалось в исходном растворе? Диссоциацией гидросульфит-иона можно пренебречь.

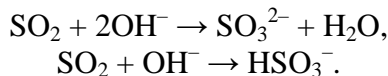
Решение. Исходное количество сернистого газа:

$$v(\text{SO}_2) = 4.48 / 22.4 = 0.2 \text{ моль.}$$

При пропускании SO_2 через раствор гидроксида калия возможны две реакции:



в сокращенном ионном виде:



Из ионных уравнений видно, что в первой реакции количество ионов уменьшается, а во второй – не изменяется. Пусть в первую реакцию вступило x моль SO_2 , тогда количество ионов уменьшилось на: $v(\text{OH}^-) - v(\text{SO}_3^{2-}) = 2x - x = x = 0.15$. Следовательно, во вторую реакцию вступило $0.2 - 0.15 = 0.05$ моль SO_2 .

После окончания реакций в растворе содержится 0.15 моль K_2SO_3 и 0.05 моль KHSO_3 .

$$\begin{aligned} v(\text{K}^+) &= 2 \cdot 0.15 + 0.05 = 0.35 \text{ моль,} \\ v(\text{SO}_3^{2-}) &= 0.15 \text{ моль,} \\ v(\text{HSO}_3^-) &= 0.05 \text{ моль.} \end{aligned}$$

Количество щелочи в исходном растворе:

$$v(\text{KOH}) = v(\text{K}^+) = 0.35 \text{ моль.}$$

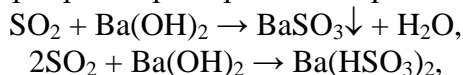
Ответ. 0.35 моль K^+ , 0.15 моль SO_3^{2-} , 0.05 моль HSO_3^- ; 0.35 моль KOH .

3. Сернистый газ объемом 4.48 л (н.у.) пропустили через раствор гидроксида бария. Газ поглотился полностью, после чего общее количество ионов в растворе уменьшилось на 0.45 моль. Какие ионы и в каком количестве находятся в конечном растворе? Сколько молей щелочи содержалось в исходном растворе? Диссоциацией гидросульфит-иона можно пренебречь.

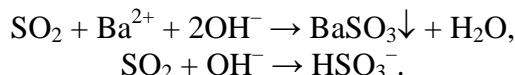
Решение. Исходное количество сернистого газа:

$$v(\text{SO}_2) = 4.48 / 22.4 = 0.2 \text{ моль.}$$

При пропускании SO_2 через раствор гидроксида бария возможны две реакции:



в сокращенном ионном виде:



Из ионных уравнений видно, что в первой реакции количество ионов уменьшается, а во второй – не изменяется. Пусть в первую реакцию вступило x моль SO_2 , тогда количество ионов уменьшилось на: $v(\text{OH}^-) + v(\text{Ba}^{2+}) = 2x + x = 3x = 0.45$, откуда $x = 0.15$. Следовательно, во вторую реакцию вступило $0.2 - 0.15 = 0.05$ моль SO_2 .

После окончания реакций в растворе содержится только $0.05 / 2 = 0.025$ моль $\text{Ba}(\text{HSO}_3)_2$.

$$\begin{aligned} v(\text{Ba}^{2+}) &= 0.025 \text{ моль,} \\ v(\text{HSO}_3^-) &= 0.05 \text{ моль.} \end{aligned}$$

Количество щелочи в исходном растворе: $v(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 0.15 + 0.05 / 2 = 0.175$ моль.

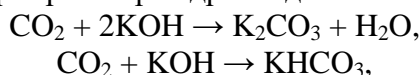
Ответ. 0.025 моль Ba^{2+} , 0.05 моль HSO_3^- . 0.175 моль $\text{Ba}(\text{OH})_2$.

4. Углекислый газ объемом 3.36 л (н.у.) пропустили через раствор гидроксида калия. Газ поглотился полностью, после чего общее количество ионов в растворе уменьшилось на 0.1 моль. Какие ионы и в каком количестве находятся в конечном растворе? Сколько молей щелочи содержалось в исходном растворе? Диссоциацией гидрокарбонат-иона можно пренебречь.

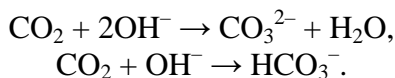
Решение. Исходное количество углекислого газа:

$$v(\text{CO}_2) = 3.36 / 22.4 = 0.15 \text{ моль.}$$

При пропускании CO_2 через раствор гидроксида калия возможны две реакции:



в сокращенном ионном виде:



Из ионных уравнений видно, что в первой реакции количество ионов уменьшается, а во второй – не изменяется. Пусть в первую реакцию вступило x моль CO_2 , тогда количество ионов уменьшилось на: $v(\text{OH}^-) - v(\text{CO}_3^{2-}) = 2x - x = x = 0.1$. Следовательно, во вторую реакцию вступило $0.15 - 0.1 = 0.05$ моль CO_2 .

После окончания реакций в растворе содержится 0.1 моль K_2CO_3 и 0.05 моль KHCO_3 .

$$\begin{aligned} v(\text{K}^+) &= 2 \cdot 0.1 + 0.05 = 0.25 \text{ моль,} \\ v(\text{CO}_3^{2-}) &= 0.1 \text{ моль,} \\ v(\text{HCO}_3^-) &= 0.05 \text{ моль.} \end{aligned}$$

Количество щелочи в исходном растворе: $v(\text{KOH}) = v(\text{K}^+) = 0.25$ моль.

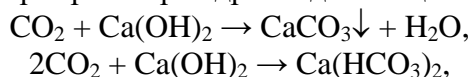
Ответ. 0.25 моль K^+ , 0.1 моль CO_3^{2-} , 0.05 моль HCO_3^- . 0.25 моль KOH .

5. Углекислый газ объемом 336 мл (н.у.) пропустили через насыщенный раствор гидроксида кальция. Газ поглотился полностью, после чего общее количество ионов в растворе уменьшилось на 0.027 моль. Какие ионы и в каком количестве находятся в конечном растворе? Сколько молей щелочи содержалось в исходном растворе? Диссоциацией гидрокарбонат-иона можно пренебречь.

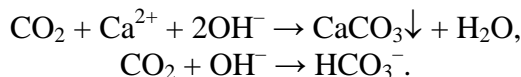
Решение. Исходное количество углекислого газа:

$$v(\text{CO}_2) = 0.336 / 22.4 = 0.015 \text{ моль.}$$

При пропускании CO_2 через раствор гидроксида кальция возможны две реакции:



в сокращенном ионном виде:



Из ионных уравнений видно, что в первой реакции количество ионов уменьшается, а во второй – не изменяется. Пусть в первую реакцию вступило x моль CO_2 , тогда количество ионов уменьшилось на: $v(\text{OH}^-) + v(\text{Ca}^{2+}) = 2x + x = 3x = 0.027$, откуда $x = 0.009$.

Следовательно, во вторую реакцию вступило $0.015 - 0.009 = 0.006$ моль CO_2 .

После окончания реакций в растворе содержится только $0.006/2 = 0.003$ моль $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$.

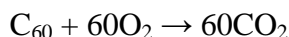
$$\begin{aligned} v(\text{Ca}^{2+}) &= 0.003 \text{ моль,} \\ v(\text{HCO}_3^-) &= 0.006 \text{ моль.} \end{aligned}$$

Количество щелочи в исходном растворе: $v(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 0.009 + 0.006/2 = 0.012$ моль.

Ответ. 0.003 моль Ca^{2+} , 0.006 моль HCO_3^- . 0.012 моль $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

6. Образец фуллерена массой 36 г полностью сожгли в атмосфере кислорода в термостатированном сосуде. После окончания реакций давление в сосуде стало больше в 1.2 раза. Что и в каком количестве находится в сосуде после сжигания? Сколько молей кислорода израсходовано?

Решение. Давление увеличилось за счет увеличения числа частиц в газовой фазе. В реакции



число молекул в газовой фазе не изменяется, следовательно, параллельно образовался CO:



$$v(C_{60}) = 36 / 720 = 0.05 \text{ моль.}$$

Пусть в первую реакцию вступило x моль фуллерена, а во вторую – $(0.05 - x)$ моль.

$$v_1(O_2) = 60x,$$

$$v_2(O_2) = 30 \cdot (0.05 - x),$$

$$v(CO_2) = 60x,$$

$$v(CO) = 60 \cdot (0.05 - x).$$

По условию,

$$\frac{60x + 60 \cdot (0.05 - x)}{60x + 30 \cdot (0.05 - x)} = 1.2,$$

отсюда

$$x = 0.033 \text{ (моль).}$$

В сосуде образовались $60 \cdot 0.033 = 2.0$ моль CO_2 и $60 \cdot (0.05 - 0.033) = 1.0$ моль CO . В реакцию вступило кислорода

$$2.0 + 0.5 = 2.5 \text{ моль.}$$

Ответ. 2.0 моль CO_2 , 1.0 моль CO . 2.5 моль O_2 .

Задание 6 (20 баллов)

1. При термическом разложении соли кальция образовалась смесь двух газов с плотностью по водороду 18, а при разложении соли меди – смесь двух других газов с плотностью по водороду 21.6. Если же прокалить смесь этих солей, то образуются только два газа. Какие это соли? В каком массовом отношении их смешали? Какие газы образуются при прокаливании смеси? Напишите уравнения всех описанных реакций.

Решение.

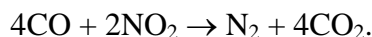
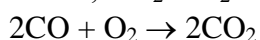


$$D_{H_2} = (0.5 \cdot 28 + 0.5 \cdot 44) / 2 = 18$$



$$D_{H_2} = ((4/5) \cdot 46 + (1/5) \cdot 32) / 2 = 21.6$$

При прокаливании первой соли образуется газ-восстановитель – CO , а при прокаливании второй – два газа-окислителя, NO_2 и O_2 . Они реагируют:



Пусть $v(Cu(NO_3)_2) = 2$ моль, тогда $v(NO_2) = 4$ моль и $v(O_2) = 1$ моль.

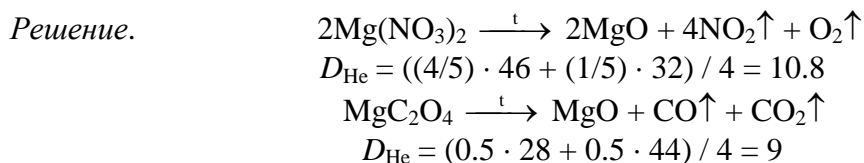
Для их восстановления потребуется $v_{\text{общ}}(CO) = 2 + 8 = 10$ моль = $v(CaC_2O_4)$.

Массовое отношение: $m(CaC_2O_4) : m(Cu(NO_3)_2) = (10 \cdot 128) : (2 \cdot 188) = 3.4 : 1$.

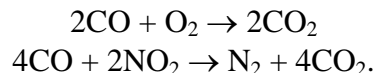
Примечание. Можно взять большее количество оксалата кальция, тогда произойдет восстановление оксида меди: $CuO + CO \rightarrow Cu + CO_2$, но качественный состав газовой смеси не изменится. Такое решение тоже засчитывается как правильное.

Ответ: $m(CaC_2O_4) : m(Cu(NO_3)_2) = 3.4 : 1$. Газы – N_2 и CO_2 .

2. При термическом разложении одной соли магния образовалась смесь двух газов с плотностью по гелию 10.8, а при разложении другой соли магния – смесь двух других газов с плотностью по гелию 9. Если же прокалить смесь этих солей, то образуются только два газа. Какие это газы и чему равна плотность полученной смеси по гелию? Напишите уравнения всех описанных реакций.



При прокаливании первой соли образуется газ-восстановитель – CO, а при прокаливании второй – два газа-окислителя, NO₂ и O₂. Они реагируют:



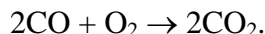
Пусть $v(\text{Mg}(\text{NO}_3)_2) = 2$ моль, тогда $v(\text{NO}_2) = 4$ моль и $v(\text{O}_2) = 1$ моль.

Для их восстановления потребуется $v_{\text{общ}}(\text{CO}) = 2 + 8 = 10$ моль = $v(\text{MgC}_2\text{O}_4)$.

Продукты восстановления: $v_{\text{общ}}(\text{CO}_2) = 2 + 8 = 10$ моль, $v(\text{N}_2) = 2$ моль. Еще 10 моль CO₂ образуется при разложении оксалата магния. Всего конечная газовая смесь содержит 20 моль CO₂ и 2 моль N₂.

Плотность смеси по гелию: $D_{\text{He}} = ((20/22) \cdot 44 + (2/22) \cdot 28) / 4 = 10.6$

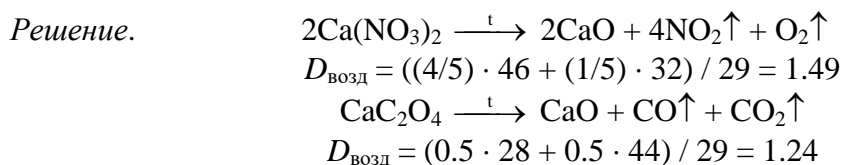
Возможен *другой вариант решения*. Если исходные соли взяты в соотношении 1 : 1, то CO реагирует только с кислородом:



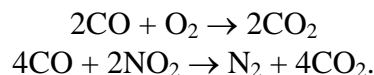
В этом случае конечная газовая смесь состоит из NO₂ и CO₂ в равных долях. Плотность смеси по гелию: $D_{\text{He}} = ((1/2) \cdot 46 + (1/2) \cdot 44) / 4 = 11.25$.

Ответ. Газы – N₂ и CO₂; $D_{\text{He}} = 10.6$. Или: газы – NO₂ и CO₂; $D_{\text{He}} = 11.25$.

3. При термическом разложении одной соли кальция образовалась смесь двух газов с плотностью по воздуху 1.49, а при разложении другой соли кальция – смесь двух других газов с плотностью по воздуху 1.24. Если же прокалить смесь этих солей, то образуются только два газа. В каком массовом соотношении смешали соли? Какие газы образуются при прокаливании смеси? Напишите уравнения всех описанных реакций.



При прокаливании первой соли образуется газ-восстановитель – CO, а при прокаливании второй – два газа-окислителя, NO₂ и O₂.



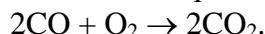
Пусть $v(\text{Ca}(\text{NO}_3)_2) = 2$ моль, тогда $v(\text{NO}_2) = 4$ моль, $v(\text{O}_2) = 1$ моль.

Для их восстановления потребуется угарного газа

$v_{\text{общ}}(\text{CO}) = 2 + 8 = 10$ моль = $v(\text{CaC}_2\text{O}_4)$.

Массовое отношение: $m(\text{CaC}_2\text{O}_4) : m(\text{Ca}(\text{NO}_3)_2) = (10 \cdot 128) : (2 \cdot 164) = 3.9 : 1$.

Возможен *другой вариант решения*. Если исходные соли взяты в мольном соотношении 1 : 1, то CO реагирует только с кислородом:



В этом случае конечная газовая смесь состоит из NO₂ и CO₂.

Массовое отношение: $m(\text{CaC}_2\text{O}_4) : m(\text{Ca}(\text{NO}_3)_2) = 128 : 164 = 1 : 1.28$.

Ответ: отношение $m(\text{CaC}_2\text{O}_4) : m(\text{Ca}(\text{NO}_3)_2) = 3.9 : 1$; газы – N₂ и CO₂. Или: $m(\text{CaC}_2\text{O}_4) : m(\text{Ca}(\text{NO}_3)_2) = 1 : 1.28$; газы – NO₂ и CO₂.

4. При термическом разложении одной соли бериллия образовалась смесь двух газов с плотностью 1.61 г/л при н.у., а при разложении другой соли бериллия – смесь двух других газов с плотностью 1.93 г/л при н.у. Если же прокалить смесь этих солей, то образуются

только два газа. Какие это газы и чему равна плотность полученной смеси при н.у.? Напишите уравнения всех описанных реакций.

Решение.

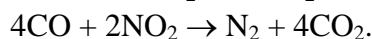
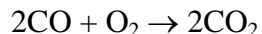


$$\rho = (0.5 \cdot 28 + 0.5 \cdot 44) / 22.4 = 1.61 \text{ г/л}$$



$$\rho = ((4/5) \cdot 46 + (1/5) \cdot 32) / 4 = 1.93 \text{ г/л}$$

При прокаливании первой соли образуется газ-восстановитель – CO, а при прокаливании второй – два газа окислителя, NO₂ и O₂. Они реагируют:



Пусть $\nu(\text{Be}(\text{NO}_3)_2) = 2$ моль, тогда $\nu(\text{NO}_2) = 4$ моль, $\nu(\text{O}_2) = 1$ моль.

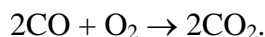
Для их восстановления потребуется

$$\nu_{\text{общ}}(\text{CO}) = 2 + 8 = 10 \text{ моль} = \nu(\text{BeC}_2\text{O}_4).$$

Продукты восстановления: $\nu_{\text{общ}}(\text{CO}_2) = 2 + 8 = 10$ моль, $\nu(\text{N}_2) = 2$ моль. Еще 10 моль CO₂ образуется при разложении оксалата бериллия. Всего конечная газовая смесь содержит 20 моль CO₂ и 2 моль N₂.

Плотность смеси: $\rho = ((20/22) \cdot 44 + (2/22) \cdot 28) / 22.4 = 1.90 \text{ г/л}$.

Возможен другой вариант решения. Если исходные соли взяты в соотношении 1 : 1, то CO реагирует только с кислородом:



В этом случае конечная газовая смесь состоит из NO₂ и CO₂ в равных долях. Плотность смеси: $\rho = ((1/2) \cdot 46 + (1/2) \cdot 44) / 22.4 = 2.01 \text{ г/л}$.

Ответ. Газы – N₂ и CO₂; $\rho = 1.90 \text{ г/л}$. Или: газы – NO₂ и CO₂; $\rho = 2.01 \text{ г/л}$.

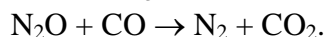
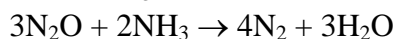
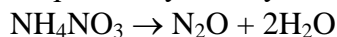
5. При термическом разложении соли аммония образовалась смесь трех газов (при температуре разложения) с плотностью по водороду 10.5. Все продукты разложения легче воздуха. Если же прокалить смесь этой соли с другой солью аммония, то образуются только три газа, входящие в состав воздуха. Установите формулы солей (подтвердите расчетом). Напишите уравнения всех описанных реакций.

Решение. Соль – формиат аммония, HCOONH₄.



$$D_{\text{H}_2} = ((1/3) \cdot 17 + (1/3) \cdot 28 + (1/3) \cdot 18) / 2 = 10.5.$$

Смесь содержит два газа-восстановителя – NH₃ и CO. Если смешать формиат аммония с нитратом аммония и прокалить, то произойдут следующие реакции:

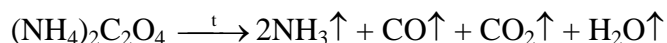


В результате получится смесь N₂, CO₂ и H₂O, все эти газы входят в состав воздуха.

Ответ: HCOONH₄ и NH₄NO₃.

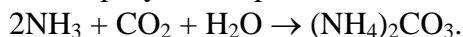
6. При термическом разложении соли аммония образовалась смесь четырех газов (при температуре разложения) с плотностью по водороду 12.4. Если продукты разложения охладить до комнатной температуры, образуется другая соль. Установите формулы обеих солей (для первой – подтвердите расчетом). Напишите уравнения реакций. Как можно качественно отличить одну соль от другой? Можно ли вторую соль превратить в первую?

Решение. Соль – оксалат аммония:

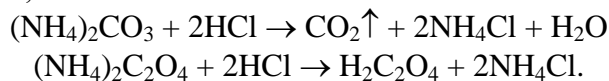


$$D_{\text{H}_2} = ((2/5) \cdot 17 + (1/5) \cdot 28 + (1/5) \cdot 44 + (1/5) \cdot 18) / 2 = 12.4.$$

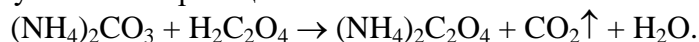
При охлаждении этой смеси образуется карбонат аммония:



Карбонат аммония можно отличить от оксалата, добавляя сильную кислоту: с карбонатом выделится газ, а с оксалатом – нет:



Карбонат аммония – соль угольной кислоты, которая намного слабее щавелевой, поэтому возможна реакция:

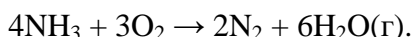


Задание 7 (20 баллов)

1. Используя необходимые данные из таблицы, рассчитайте, сколько выделится теплоты (в кДж) при сжигании 100 л аммиака (150°C, 1 атм) в избытке кислорода в отсутствие катализатора.

Связь	C–H	O–H	N–H	C–C	O=O	N–N	N≡N	N=O
Энергия связи, кДж/моль	412	463	391	348	497	253	945	632

Решение.



$$v(\text{NH}_3) = \frac{pV}{RT} = \frac{101.3 \cdot 100}{8.314 \cdot 423} = 2.88 \text{ моль}.$$

Теплоту реакции в расчете на 4 моль NH_3 определим по следствию из закона Гесса:

$$\begin{aligned} Q &= \sum E_{\text{св}}(\text{обр}) - \sum E_{\text{св}}(\text{разр}) = 2E(\text{N}\equiv\text{N}) + 12E(\text{O}-\text{H}) - 12E(\text{N}-\text{H}) - 3E(\text{O}=\text{O}) = \\ &= 2 \cdot 945 + 12 \cdot 463 - 12 \cdot 391 - 3 \cdot 497 = 1263 \text{ кДж}. \end{aligned}$$

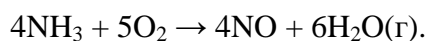
При сжигании 2.88 моль NH_3 выделится $1263 \cdot 2.88 / 4 = 909$ кДж.

Ответ. 909 кДж.

2. Используя необходимые данные из таблицы, рассчитайте, сколько выделится теплоты (в кДж) при сжигании 100 л аммиака (150°C, 1 атм) в присутствии платинового катализатора.

Связь	C–H	O–H	N–H	C–C	O=O	N–N	N≡N	N=O
Энергия связи, кДж/моль	412	463	391	348	497	253	945	632

Решение.



$$v(\text{NH}_3) = \frac{pV}{RT} = \frac{101.3 \cdot 100}{8.314 \cdot 423} = 2.88 \text{ моль}.$$

Теплоту реакции в расчете на 4 моль NH_3 определим по следствию из закона Гесса:

$$\begin{aligned} Q &= \sum E_{\text{св}}(\text{обр}) - \sum E_{\text{св}}(\text{разр}) = 4E(\text{N}=\text{O}) + 12E(\text{O}-\text{H}) - 12E(\text{N}-\text{H}) - 5E(\text{O}=\text{O}) = \\ &= 4 \cdot 632 + 12 \cdot 463 - 12 \cdot 391 - 5 \cdot 497 = 907 \text{ кДж}. \end{aligned}$$

При сжигании 2.88 моль NH_3 выделится $907 \cdot 2.88 / 4 = 653$ кДж.

Ответ. 653 кДж.

3. Используя необходимые данные из таблицы, рассчитайте, сколько теплоты выделится при сжигании 150 л метана (150 °C, 1 атм) в избытке кислорода.

Связь	C–H	O–H	N–H	C–C	O=O	N–N	N≡N	C=O
Энергия связи, кДж/моль	412	463	391	348	497	253	945	798

Решение. $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}(\text{г})$.

$$\nu(\text{CH}_4) = \frac{pV}{RT} = \frac{101.3 \cdot 150}{8.314 \cdot 423} = 4.32 \text{ моль.}$$

Теплоту реакции в расчете на 1 моль CH_4 определим по следствию из закона Гесса:

$$Q = \sum E_{\text{св}}(\text{обр}) - \sum E_{\text{св}}(\text{разр}) = 2E(\text{C}=\text{O}) + 4E(\text{O}-\text{H}) - 4E(\text{C}-\text{H}) - 2E(\text{O}=\text{O}) = \\ = 2 \cdot 798 + 4 \cdot 463 - 4 \cdot 412 - 2 \cdot 497 = 806 \text{ кДж.}$$

При сжигании 4.32 моль CH_4 выделится $806 \cdot 4.32 = 3482$ кДж.

Ответ. 3482 кДж.

4. Используя необходимые данные из таблицы, рассчитайте, сколько теплоты выделится при сжигании 120 л этана (150°C , 1 атм) в избытке кислорода.

Связь	C-H	O-H	N-H	C-C	O=O	N-N	N≡N	C=O
Энергия связи, кДж/моль	412	463	391	348	497	253	945	798

Решение. $2\text{C}_2\text{H}_6 + 7\text{O}_2 \rightarrow 4\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}(\text{г})$.

$$\nu(\text{C}_2\text{H}_6) = \frac{pV}{RT} = \frac{101.3 \cdot 120}{8.314 \cdot 423} = 3.46 \text{ моль.}$$

Теплоту реакции в расчете на 2 моль C_2H_6 определим по следствию из закона Гесса:

$$Q = \sum E_{\text{св}}(\text{обр}) - \sum E_{\text{св}}(\text{разр}) = 8E(\text{C}=\text{O}) + 12E(\text{O}-\text{H}) - 12E(\text{C}-\text{H}) - 2E(\text{C}-\text{C}) - 7E(\text{O}=\text{O}) = \\ = 8 \cdot 798 + 12 \cdot 463 - 12 \cdot 412 - 2 \cdot 348 - 7 \cdot 497 = 2821 \text{ кДж.}$$

При сжигании 3.46 моль C_2H_6 выделится $2821 \cdot 3.46 / 2 = 4880$ кДж.

Ответ. 4880 кДж.

5. Используя необходимые данные из таблицы, рассчитайте, сколько выделится теплоты (в кДж) при сжигании 80 л гидразина N_2H_4 (150°C , 1 атм) в избытке кислорода в отсутствие катализатора.

Связь	C-H	O-H	N-H	C-C	O=O	N-N	N≡N	C=O
Энергия связи, кДж/моль	412	463	391	348	497	253	945	798

Решение. $\text{N}_2\text{H}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O}(\text{г})$.

$$\nu(\text{N}_2\text{H}_4) = \frac{pV}{RT} = \frac{101.3 \cdot 80}{8.314 \cdot 423} = 2.30 \text{ моль.}$$

Теплоту реакции в расчете на 1 моль N_2H_4 определим по следствию из закона Гесса:

$$Q = \sum E_{\text{св}}(\text{обр}) - \sum E_{\text{св}}(\text{разр}) = E(\text{N} \equiv \text{N}) + 4E(\text{O}-\text{H}) - 4E(\text{N}-\text{H}) - E(\text{N}-\text{N}) - E(\text{O}=\text{O}) = \\ = 945 + 4 \cdot 463 - 4 \cdot 391 - 253 - 497 = 483 \text{ кДж.}$$

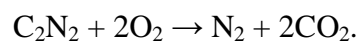
При сжигании 2.30 моль N_2H_4 выделится $483 \cdot 2.30 = 1111$ кДж.

Ответ. 1111 кДж.

6. Используя необходимые данные из таблицы, рассчитайте, сколько выделится теплоты (в кДж) при сжигании 60 л дициана C_2N_2 (150°C , 1 атм) в избытке кислорода.

Связь	O-H	N-H	C-C	O=O	N-N	N≡N	C≡N	C=O
Энергия связи, кДж/моль	463	391	348	497	253	945	933	798

Решение.



$$\nu(\text{C}_2\text{N}_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{101.3 \cdot 60}{8.314 \cdot 423} = 1.73 \text{ моль.}$$

Теплоту реакции в расчете на 1 моль C_2N_2 определим по следствию из закона Гесса:

$$\begin{aligned} Q &= \sum E_{\text{св}}(\text{обр}) - \sum E_{\text{св}}(\text{разр}) = E(\text{N}\equiv\text{N}) + 4E(\text{C}=\text{O}) - E(\text{C}-\text{C}) - 2E(\text{C}\equiv\text{N}) - 2E(\text{O}=\text{O}) = \\ &= 945 + 4 \cdot 798 - 348 - 2 \cdot 933 - 2 \cdot 497 = 929 \text{ кДж.} \end{aligned}$$

При сжигании 1.73 моль C_2N_2 выделится $929 \cdot 1.73 = 1607$ кДж.

Ответ. 1607 кДж.