

8 класс

Задача 1. Кислые и некие соли

1. Из неорганических кислот с молярной массой 98 г/моль подходят две очевидные кислоты – серная и фосфорная. При этом у серной кислоты два протона, следовательно, она может образовать две соли (среднюю и кислую), а у фосфорной – три (значит, три соли – средняя и две кислые). Тогда формулы и названия кислот K_1 и K_2 , а также солей C_1 – C_5 (с учетом возможности дальнейшей реакции со щелочью, а также количества щелочи) выглядят следующим образом:

K_1 – H_2SO_4 , серная кислота

K_2 – H_3PO_4 , фосфорная кислота

C_1 – $NaHSO_4$, гидросульфат натрия

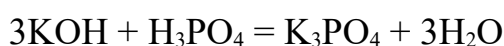
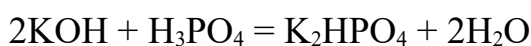
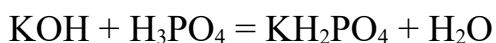
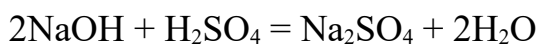
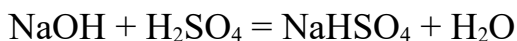
C_2 – Na_2SO_4 , сульфат натрия

C_3 – KH_2PO_4 , дигидрофосфат калия

C_4 – K_2HPO_4 , гидрофосфат калия

C_5 – K_3PO_4 , фосфат калия

2. Уравнения реакций образования солей C_1 – C_5 :



3. В условии задачи сказано, что кислоты K_2 – K_4 образованы одним и тем же элементом, следовательно, т. к. K_2 содержит фосфор, то и кислоты K_3 и K_4 содержат фосфор. С учетом массовых долей водорода можно рассчитать молярные массы кислот, приходящихся на один протон:

$$M(K_3) = 1,008 / 0,0369 = 27,32 \text{ г/моль}$$

$$M(K_4) = 1,008 / 0,0458 = 22,01 \text{ г/моль}$$

Исходя из условия задачи можно сделать вывод о том, что кислота K_3 должна содержать как минимум три протона, а кислота K_4 – два. Кроме того, обе кислоты должны содержать фосфор и, скорее всего, кислород, причем числа атомов не должны быть дробными. Тогда при трех протонах для кислоты K_3 можно получить молярную массу 81,96 г/моль, в которую хорошо укладываются три атома водорода, один атом фосфора и три атома кислорода ($1 \cdot 3 + 31 +$

$16 \cdot 3 = 82$). Для кислоты K_4 в случае двух протонов получается молярная масса около 44 г/моль, для которой с учетом двух протонов и фосфора не получается адекватных вариантов, а при трех протонах молярная равна 66 г/моль, в которую хорошо укладываются три атома водорода, один атом фосфора и два атома кислорода ($1 \cdot 3 + 31 + 16 \cdot 2 = 66$).

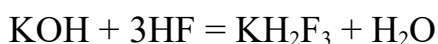
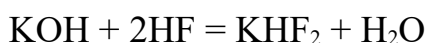
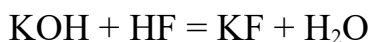
Таким образом, кислоты K_3 и K_4 :

K_3 – H_3PO_3 , фосфористая кислота

K_4 – H_3PO_2 , гипофосфористая кислота

4. С учетом того, что кислота K_5 : является одноосновной, двухэлементной, причем образована элементом второго периода, то можно сделать вывод, что это HF, фтористоводородная кислота (плавиковая кислота).

Реакции одного моля гидроксида калия с одним, двумя и тремя молями кислоты выглядят следующим образом:



Система оценивания:

1. Ответ на первый вопрос – **10,5 баллов** (по **1 баллу** за формулы кислот K_1 и K_2 , солей C_1 – C_5 ; по **0,5 балла** за **название вещества**).

2. Ответ на второй вопрос – **5 баллов** (по **1 баллу** за уравнение реакции с правильными коэффициентами).

3. Ответ на третий вопрос – **5 баллов** (по **2,5 балла** за формулы кислот K_3 и K_4 , подтвержденные расчетами (названия этих кислот не оцениваются)).

4. Ответ на четвертый вопрос – **4,5 балла** (**1 балл** за формулу кислоты K_5 , **0,5 балла** за название (оценивается любое правильное название — систематическое или тривиальное), по **1 баллу** за уравнение реакции (допускается и запись кислых солей с анионами в квадратных скобках, либо в виде $KF \cdot HF$, $KF \cdot 2HF$)).

ИТОГО: 25 баллов.

Задача 2. Загадка...

1. Судя по описанию, Аким обнаружил **воду**. В данном пункте принимается как слово «вода», так и формула в любом виде.

2. Рассчитаем количество вещества и молярную массу **A**:

$$n = \frac{pV}{RT} = \frac{166300 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{8,314 \cdot 400} = 0,050 \text{ моль}$$

$$M = \frac{m}{n} = \frac{1}{0,050} = 20 \text{ г/моль}$$

Поскольку по виду и физическим свойствам **A** близка к обычной воде, а отличается физическими свойствами незначительно и имеет другую молярную массу, расхождение объясняется другим **изотопным составом**. Зачет по любому упоминанию изотопов как причины другой молярной массы или записи формулы с указанием изотопного состава (как ниже).

Водород имеет стабильный изотоп с массой 2. Значит, **A** – это **D₂O** (или ²H₂O).

3. Температура плавления, температура кипения, плотность. Учитываются два верных ответа.

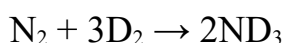
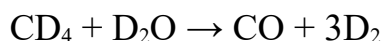
4. Молярная масса **B** равна $0,14 \cdot 29 = 4$ г/моль. С учетом того, что газ участвует в химических реакциях, это не гелий, а тяжелый водород – **D₂**.

Основной компонент земного природного газа – метан. Значит, вероятно, на этой планете это **CD₄**. Газ **Г** в таком случае может содержать углерод и кислород (менее вероятно – дейтерий). Его молярная масса равна молярной массе воздуха – 29 г/моль, что соответствует 1 атому кислорода и 1 атому углерода и еще 1 г/моль остаётся «лишним». Он не может приходиться на атом водорода, так как на этой планете он имеет молярную массу 2 г/моль. При этом изотопный состав кислорода этой планеты такой же, как на Земле (так как молярная масса воздуха такая же). Значит, на этой планете основным является не изотоп углерода ¹²C, а изотоп ¹³C. К тому же выводу можно прийти, если рассчитать молярную массу метана из соотношения масс реагентов: $1,05 \cdot 20 = 21$ г/моль – снова на 1 г/моль больше, чем ожидается.

Итак, **B** – ¹³CD₄ (или ¹³C²H₄), **B** – **D₂** (или ²H₂), **Г** – ¹³CO.

Если формулы записаны без указания изотопов, но текстом указано, какие изотопы содержатся в веществах, ответ считается верным.

5. Уравнения реакций (принимаются как с указанием изотопов, так и без):



6. Расчет массы аммиака:

$$V(CD_4) = 0,85 \text{ м}^3 = 850 \text{ л}$$

$$n(CD_4) = 850 / 22,4 = 37,95 \text{ моль}$$

$$n_{\text{теор}}(D_2) = 3 \cdot 37,95 = 113,84 \text{ моль}$$

$$n_{\text{практ}}(\text{D}_2) = 113,84 \cdot 0,60 = 68,30 \text{ моль}$$

$$n_{\text{теор}}(\text{ND}_3) = 68,30 \cdot 2 / 3 = 45,54 \text{ моль}$$

$$n_{\text{практ}}(\text{ND}_3) = 45,54 \cdot 0,55 = 25,04 \text{ моль}$$

$$m(\text{ND}_3) = 25,04 \cdot (14 + 6) = \mathbf{501 \text{ грамм.}}$$

7. Однократный прием дейтериевой воды не опасен, но систематический прием приведет к изменению изотопного состава организма, что приведет к нарушениям в биопроцессах в организме. Оставаться жить на такой планете земному Акиму не стоит.

8. Пусть земной человек имеет массу m . Рассчитаем состав копии такого человека на планете, на которую попал Аким: будем считать, что числа моль атомов для этого должны совпадать.

$$n(\text{O}) = 0,65m / 16 = 0,04063m$$

$$n(\text{H}) = 0,10m / 1 = 0,1m$$

$$n(\text{C}) = 0,18m / 12 = 0,015m$$

$$n(\text{N}) = 0,03m / 14 = 0,00214m$$

Ещё $0,04m$ от массы человека приходится на остальные элементы. Будем считать, что и для неземного человека эта величина такая же.

Найдем массы таких количеств каждого элемента в человеке с планеты Акима:

$$m(\text{O}) = 0,04063m \cdot 16 = 0,65m$$

$$n(^2\text{H}) = 0,1m \cdot 2 = 0,2m$$

$$n(^{13}\text{C}) = 0,015m \cdot 13 = 0,195m$$

$$n(\text{N}) = 0,00214m \cdot 14 = 0,03m$$

Общая масса человека с планеты Акима:

$$m_{\text{ч}} = (0,65 + 0,2 + 0,195 + 0,03 + 0,04)m = 1,115m$$

Массовые доли элементов:

$$w(\text{O}) = 0,65m / 1,115m = 58,3\%$$

$$w(\text{H}) = 0,2m / 1,115m = 17,9\%$$

$$w(\text{C}) = 0,195m / 1,115m = 17,5\%$$

$$w(\text{N}) = 0,03m / 1,115m = 2,7\%$$

Система оценивания:

1. За воду – **1 балл.**

2. Расчет молярной массы – **2 балла.** Упоминание изотопов – **1 балл.** Формула тяжелой воды в любом допустимом виде – **2 балла.** Всего – **5 баллов.**

3. Засчитываются 2 верных физических свойства по 1 баллу. Всего – 2 балла.

4. Формулы 3 веществ – по 2 балла. Всего – 6 баллов.

5. Уравнения 2 реакций – по 1 баллу. Всего – 2 балла.

6. Расчет массы аммиака – 4 балла. Расчет без учета выхода – 2 балла.

7. Указание на опасность оставаться на планете – 1 балл.

8. Расчет каждой массовой доли – по 1 баллу. Всего – 4 балла.

ИТОГО: 25 баллов.

Задача 3. Таинственные превращения

1. Начнем определение с соли **Б** – это бескислородная соль с известным содержанием хлора. По-видимому, это хлорид. В общем виде его формулу можно записать как MCl_n . Выразим из массовой доли хлора молярную массу M :

$$\frac{35,45n}{35,45n+M} = 0,3405$$
$$M = \frac{35,45n}{0,3405} - 35,45n = 68,66n$$

При $n = 1$ – $M = 68,66$ г/моль – близко к Ga^{+1} , что для него не характерно.

При $n = 2$ – $M = 137,32$ г/моль – близко к Ba^{2+} – подходит.

Значит, **Б** – $BaCl_2$.

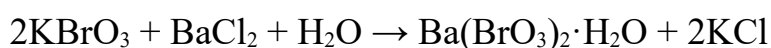
Красно-бурая жидкость **В**, являющаяся простым веществом – это бром, Br_2 . Значит, логично предположить, что исходное **Х** содержит 38,87% брома по массе. Кроме того, **Х** является кристаллогидратом, в котором массовая доля воды составляет $1 - 1/1,046 = 4,398\%$. С учетом того, что обычно анионы, содержащие бром (бромид, бромат и другие), содержат 1 атом брома и имеют заряд -1 , можно предположить формулу **Х** в виде $Ba(BrO_x)_2 \cdot nH_2O$. Тогда молярная масса **Х** составляет $2 \cdot 79,9/0,3887 = 411,1$ г/моль, и на воду приходится $411,1 \cdot 0,04398 = 18,1$ г/моль, а значит, $n = 1$. На $2x$ атомов кислорода тогда приходится $411,1 - 2 \cdot 79,9 - 137,3 - 18 = 96$ г/моль, то есть $x = 96/32 = 3$. Значит, **Х** – $Ba(BrO_3)_2 \cdot H_2O$.

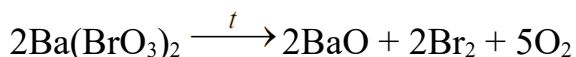
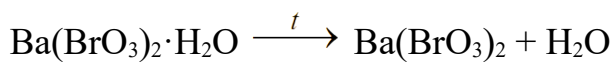
Поскольку **Х** получают реакцией обмена, то **А** – бромат. **А** окрашивает пламя в фиолетовый цвет, значит, это соль калия. Значит, **А** – $KBrO_3$.

Газ **Г**, образующийся наряду с бромом при разложении бромата бария и поддерживающий горение – это кислород, O_2 .

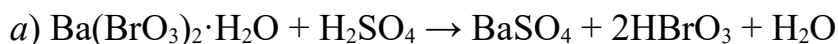
Итого: **Х** – $Ba(BrO_3)_2 \cdot H_2O$, **А** – $KBrO_3$, **Б** – $BaCl_2$, **В** – Br_2 , **Г** – O_2 .

2. Уравнения описанных в задаче реакций:





3. Уравнения реакций взаимодействия X с серной кислотой и HBr (принимаются и без гидратной воды):



4. На обычном динамометре показания соответствуют силе тяжести:

$$mg = F_1$$

$$m = F_1 / g = 0,1285 / 9,8 = 0,01311 \text{ кг} = 13,11 \text{ г}$$

Показания в погруженном в воду состоянии соответствуют весу в воде, то есть силе тяжести за вычетом силы Архимеда:

$$mg - Vr_{\text{в}}g = F_2$$

$$V = (mg - F_2) / r_{\text{в}}g = 3,286 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 = 3,286 \text{ см}^3$$

$$r_{\text{X}} = m / V = \mathbf{3,99 \text{ г/см}^3 = \mathbf{3990 \text{ кг/м}^3}.$$

5. Массовая доля безводной соли в гидрате $w_1 = 345,1 / (345,1 + 18) = 0,950$.

Массовые доли безводной соли в насыщенном растворе при 100 и при 10°C:

$$w_{10} = 0,110 \cdot 3,99 \cdot 0,95 / (100 + 0,110 \cdot 3,99) = 0,00415$$

$$w_{10} = 1,351 \cdot 3,99 \cdot 0,95 / (100 + 1,351 \cdot 3,99) = 0,0486$$

В 200 г насыщенного при 100°C раствора содержится:

$$m_{100} = 0,0486 \cdot 200 = 9,72 \text{ г Ba}(\text{BrO}_3)_2$$

Если выделится x грамм гидрата, то масса соли в растворе уменьшится на $0,95x$ грамм, а масса раствора – на x грамм. Значит:

$$0,00415 = \frac{9,72 - 0,95x}{200 - x}$$

Решая уравнение, получаем $x = \mathbf{9,40 \text{ г}}$.

Система оценивания:

1. Каждое вещество – по **2 балла**. Всего – **10 баллов**.

2. Каждая реакция – по **1 баллу**. Всего – **3 балла**.

3. Каждая реакция – по **1 баллу**. Всего – **2 балла**.

4. Расчет плотности – **5 баллов**. Без приведенного решения – **0 баллов**.

Если ответ неверен, но указано, что первые показания соответствуют силе тяжести, а вторые – разности силы тяжести и силы Архимеда – за каждую из этих идей по **1 баллу**.

5. Расчет массы выделившегося X – 5 баллов. Ответ засчитывается только при наличии верного решения, так как близкие ответы получаются и при наличии ошибок (например, неучете 0,95 в качестве множителя в уравнении). Если ответ неверен, но рассчитаны массовые доли в насыщенных растворах – по **1 баллу** за каждую массовую долю.

ИТОГО: 25 баллов.

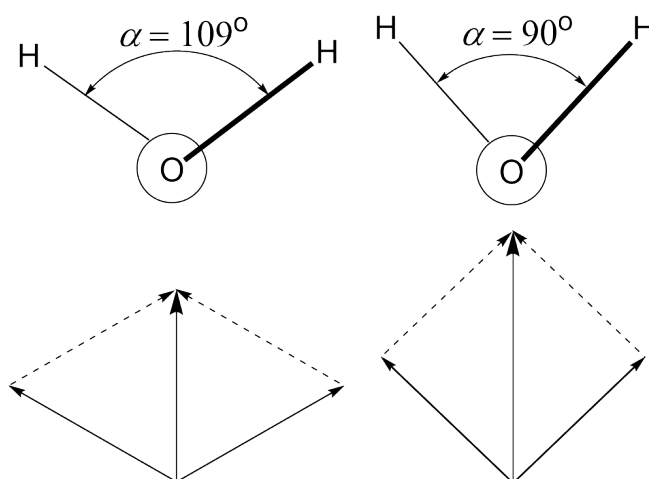
Задача 4. Структурная химия

1. а) Из рисунка видно, что атомы водорода располагаются наиболее близко друг к другу при $\alpha = 0^\circ$.

б) Из рисунка видно, что атомы водорода располагаются наиболее далеко друг от друга при $\alpha = 180^\circ$.

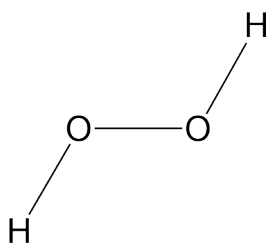
2. Связи **O–O** – неполярны, связи **O–H** – полярны. Электронная плотность смещена по ним к атомам кислорода. Принимается также ответ в виде рисунка, если по нему однозначно ясен ответ.

3. Суммарный дипольный момент молекулы является суммой двух векторов дипольных моментов связей O–H. Эта сумма может быть найдена по правилу параллелограмма, если изобразить молекулу H_2O_2 в проекции вдоль связи O–O: видно, что чем больше диэдральный угол, тем менее полярна молекула.



Значит, в газовой фазе молекула H_2O_2 более полярна, чем в твердой фазе.

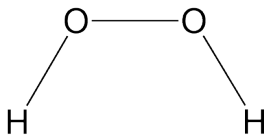
4. а) Изобразим молекулу H_2O_2 с диэдральным углом 180° (все атомы лежат в плоскости рисунка).



У такой молекулы есть следующие элементы симметрии:

- **центр симметрии** (в середине связи O–O);
- **одна плоскость симметрии** (плоскость самой молекулы);
- **одна ось симметрии второго порядка** (перпендикулярна рисунку и проходит через центр симметрии: при повороте на 180° вокруг такой оси фрагменты OH точно переходят друг в друга).

б) Изобразим молекулу H_2O_2 с диэдральным углом 0° (все атомы лежат в плоскости рисунка).

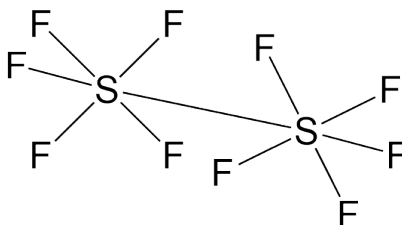


У такой молекулы есть следующие элементы симметрии:

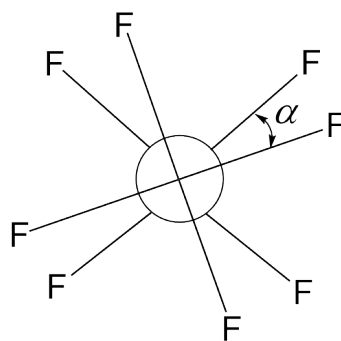
- **две плоскости симметрии** (плоскость самой молекулы и плоскость перпендикулярная связи O–O, проходящая через ее середину);
- **одна ось симметрии второго порядка** (в плоскости рисунка, перпендикулярно связи O–O, проходит через ее середину).

5. Атом фтора в соединении одновалентен, поэтому имеет **три неподеленных электронных пары** (всего у атома фтора 7 валентных электронов).

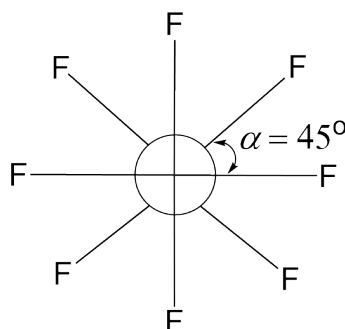
6. На основании типичных валентностей можно предложить следующую структуру для S_2F_{10} (пока без геометрии):



С учетом того, что все валентные углы составляют 90° , видно, что эта молекула представляет собой два фрагмента SF_5 , каждый из которых должен иметь форму квадратной пирамиды. По условию, диэдральный угол определяется отталкиванием атомов фтора друг от друга. Значит, необходимо рассмотреть взаимное расположение двух квадратов из атомов фтора.



Видно, что отталкивание будет минимальным **при $\alpha = 45^\circ$** , так как при больших значениях близко оказываются одни атомы фтора, а при меньших – другие:



7. У этой молекулы есть ось симметрии **4 порядка** (поворот на 90° вокруг связи S–S приводит к той же структуре).

У молекулы **4 плоскости симметрии** (вдоль каждой пары напротив стоящих связей S–F и связи S–S).

В данной молекуле **нет центра симметрии**.

Система оценивания:

1. Два значения диэдрального угла – по **2 балла**. Всего – **4 балла**.
2. Указание полярных и неполярных связей – по **1 баллу**. Указание, к кому смещена электронная плотность – **1 балл**. Всего – **3 балла**.
3. Указание, что в газовой фазе молекула более полярна – **2 балла**. Объяснение – **2 балла**. Всего – **4 балла**.
4. Каждый элемент симметрии – по **1 баллу**. Всего – **6 баллов**.
Каждый лишний элемент симметрии – **минус 0,5 балла**. В сумме не менее **0 баллов** за пункт.
5. Верное число НЭП у атомов фтора – **2 балла**.
6. Верный диэдральный угол – **2 балла**.
7. Ответ на каждый вопрос (ось 4 порядка, число плоскостей симметрии, отсутствие центра симметрии) – по **2 балла**. Всего – **6 баллов**.

ИТОГО: 25 баллов.