

Разбор заданий школьного этапа ВсОШ по химии для 9 класса

(группа № 2)

2021/22 учебный год

Максимальное количество баллов — 50

Задание № 1

Условие:

Из приведённого ниже списка выберите все вещества, в состав которых входит химический элемент водород.

Варианты ответов:

- D₂O
- H_o
- NT₃
- CHCl₃
- HgS
- CaCO₃

Ответ:

- D₂O
- NT₃
- CHCl₃

Каждый правильный выбор — 1 балл, штраф за неправильный ответ — 1 балл

Максимальный балл за задание — 3

Решение.

Каждый из трёх изотопов водорода обозначается по-своему (¹H – H, ²H – D, ³H – T). Формулы, в которых встречаются какие-либо из этих трёх обозначений, и будут правильным ответом к задаче:

D₂O

NT₃

CHCl₃

Задание № 2

Условие:

Высокотоксичное газообразное вещество **С** было впервые получено при реакции двух других токсичных газообразных веществ – простого вещества **А** и бинарного соединения **В**, протекающей по схеме $A + B = C$. В годы Первой мировой войны как **А**, так и **С** активно производились на фабриках Германии для применения в военных целях. Известно, что при полном поглощении 2,24 л (н.у.) газа **С** избытком известковой воды выпадает 10,0 г белого осадка. Определите вещество **С**, в ответе приведите его молярную массу в г/моль с точностью до целых.

Ответ: 99

Точное совпадение ответа — 4 балла

Решение.

Простых газообразных веществ не очень много. Без учёта благородных газов, а также кислорода, водорода и азота, очевидно, не токсичных, на роль газа **А** могут подойти только фтор и хлор, однако фтор производить крайне сложно, а использовать как оружие фактически невозможно, поэтому газом **А** может быть только хлор. Он реагирует с бинарным газом, образуя, очевидно, соединение, содержащее 3 элемента, из которых два атома хлора. Далее можно использовать количественные данные. Молярный объём при н.у. составляет 22,4 л/моль, следовательно, газа **С** было пропущено 0,1 моль. Логично предположить, что выпадающий при поглощении газа осадок является карбонатом кальция, чтобы проверить это предположение, проведём расчёт:

$$n_{CaCO_3} = \frac{m_{CaCO_3}}{M_{CaCO_3}} = \frac{10}{100} \text{ моль} = 0,1 \text{ моль}$$

С является производным углерода (IV), содержащим 2 атома хлора и ещё один элемент – очевидно, кислород, тогда **В** – угарный газ. Речь идёт о фосгене $COCl_2$, его молярная масса **99** г/моль.

Задание № 3.1

Общее условие:

Смесь двух газов, содержащая только атомы кислорода, имеет плотность по водороду 18.

Условие:

Запишите формулу более тяжёлого из этих газов. Используйте прописные латинские буквы.

Ответ: O3

Точное совпадение ответа — 2 балла

Решение.

Если газов в смеси два, но они состоят только из атомов кислорода, то смесь содержит кислород (O_2 , $M_1 = 32$ г/моль) и озон (O_3 , $M_2 = 48$ г/моль). Более тяжелый газ **O₃**.

Условие:

Определите массовую долю этого газа в смеси в процентах с точностью до целых.

Ответ: 33

Точное совпадение ответа — 3 балла

Решение.

Пусть ϕ – объёмная (мольная) доля O_2 в смеси, тогда молярная масса смеси $M = M_1 \cdot \phi + M_2 \cdot (1 - \phi)$, где $0 < \phi < 1$. С другой стороны, молярную массу смеси определим из относительной плотности: $M = 18 \cdot 2$ (г/моль) = 36 г/моль. Подставим значение M в уравнение и найдем ϕ :

$36 = 32 \cdot \phi + 48 \cdot (1 - \phi)$, $36 = -16 \cdot \phi + 48$, $\phi = 0.75$, значит на каждый 1 моль смеси приходится 0.75 моль O_2 и $(1 - 0.75) = 0.25$ моль O_3 . Масса озона в 1 моль смеси $m = 48 \cdot 0.25 = 12$ г, масса 1 моль смеси равна 36 г, откуда массовая доля озона $w = 12/36 \cdot 100\% = \mathbf{33\%}$.

Задание № 3.2

Общее условие:

Смесь двух газов, содержащая только атомы кислорода, имеет плотность по водороду 20.

Условие:

Запишите формулу более тяжелого из этих газов. Используйте прописные латинские буквы.

Ответ: O3

Точное совпадение ответа — 2 балла

Решение.

Если газов в смеси два, но они состоят только из атомов кислорода, то смесь содержит кислород (O_2 , $M_1 = 32$ г/моль) и озон (O_3 , $M_2 = 48$ г/моль). Более тяжелый газ **O₃**.

Условие:

Определите массовую долю этого газа в смеси в процентах с точностью до целых.

Ответ: 60

Точное совпадение ответа — 3 балла

Решение.

Пусть ϕ – объёмная (мольная) доля O_2 в смеси, тогда молярная масса смеси $M = M_1 \cdot \phi + M_2 \cdot (1 - \phi)$, где $0 < \phi < 1$. С другой стороны, молярную массу смеси определим из относительной плотности: $M = 20 \cdot 2$ (г/моль) = 40 г/моль. Подставим значение M в уравнение и найдем ϕ :

$40 = 32 \cdot \phi + 48 \cdot (1 - \phi)$, $40 = -16 \cdot \phi + 48$, $\phi = 0.5$, значит на каждый 1 моль смеси приходится по 0.5 моль O_2 и O_3 . Масса озона в 1 моль смеси $m = 48 \cdot 0.5 = 24$ г, масса 1 моль смеси равна 40 г, откуда массовая доля озона $w = 24/40 \cdot 100\% = \mathbf{60\%}$.

Задание № 4

Общее условие:

На 30.0 г яичной скорлупы подействовали 100 мл столового уксуса. Какой максимальный объем газа (при н.у. в литрах с точностью до десятых) мог при этом выделиться? Испарением уксуса и воды пренебречь.

Столовый уксус – 9%-ный водный раствор одноосновной уксусной кислоты, имеющей формулу CH_3COOH ; плотность столового уксуса составляет 1,01 г/мл.

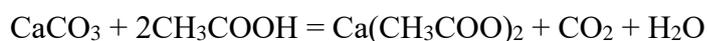


Ответ: принимается значение в интервале [1,6;1,8]

Точное совпадение ответа — 3 балла

Решение.

Как известно, яичная скорлупа состоит главным образом из карбоната кальция. При действии на нее уксусной кислоты могут протекать следующие реакции:



Максимально возможный объем газа получится, если протекает только первая реакция.

Количества вещества реагентов, вступивших в реакцию, составляют:

$$n(\text{CaCO}_3) = 30/100 = 0,3 \text{ моль (на самом деле чуть меньше с учетом примесей)}$$

$$n(\text{CH}_3\text{COOH}) = 100 \cdot 1,01 \cdot 0,09/60 = 0,15 \text{ моль}$$

В недостатке взята уксусная кислота, расчет ведем по ней.

Нетрудно увидеть, что количество вещества углекислого газа в 2 раза меньше, чем количество вещества уксусной кислоты, то есть, оно составляет 0,075 моль.

Объем углекислого газа при н.у. составит $V = 0,075 \cdot 22,4 = 1,68$ л (объем воды при этом пренебрежимо мал по сравнению с объемом углекислого газа)

Условие:

Выделившийся газ перекачали в предварительно вакуумированный сосуд объемом 5 л. Какую долю (в процентах) от объема сосуда займет газ?

Ответ: 100

Точное совпадение ответа — 2 балла

Решение.

Как известно, любой газ занимает весь предоставленный объем. Следовательно, он займет **100%** от объема сосуда.

Задание № 5

Общее условие:

Винни-Пух, наученный горьким опытом, решил отправить за мёдом на воздушном шарике Пятачка. Для обеспечения достаточной для подъёма своего худощавого товарища к улью с пчёлами подъёмной силы он решил накачать шарик газом легче воздуха.



Условие:

Чем может быть заполнен воздушный шарик, который поднимет Пятачка?

Варианты ответов:

- Аммиак
- Гелий
- Кислород
- Веселящий газ
- Аргон
- Фтор
- Вода
- Углекислый газ
- Ацетилен

Ответ:

- Аммиак
- Гелий
- Ацетилен

Каждый правильный выбор — 0.75 балла, штраф за неправильный ответ — 0.75 балла

Максимальный балл за задание — 3

Решение.

Для возникновения подъёмной силы необходимо, чтобы плотность содержимого шарика была меньше плотности окружающего воздуха. Как известно, при одинаковых давлении и температуре в равных объёмах различных газов содержится одинаковое количество молекул, значит, плотность газа в шарике окажется меньше плотности окружающего воздуха в том случае, если молярная масса используемого газа меньше молярной массы воздуха. Выберем газы, имеющие $M < 29$ г/моль. Это **гелий** (4 г/моль), **аммиак** (17 г/моль) и **ацетилен** (26 г/моль). Вода (18 г/моль) жидкая в условиях полёта, поэтому для наполнения шарика не годится.

Условие:

Запишите формулу газа, который обеспечит максимальную подъёмную силу (не обязательно из приведенного выше списка).

Ответ: H_2

Точное совпадение ответа — 1 балл

Решение.

Самый лёгкий газ, который использовали прежде для наполнения дирижаблей и метеорологических зондов – водород H_2 (2 г/моль). Широкое распространение дирижабли имели в 30-е года прошлого века, но ряд трагедий, вызванных воспламенением водорода во время их полётов, а также стремительное развитие самолётостроения завершило эру исполинских летательных аппаратов.



Крушение дирижабля Гинденбург в 1937 году

Задание № 6

Условие:

Вещество **X** – соль, не содержащая кристаллизационной воды, используется как пищевая добавка (наверняка есть у вас на кухне) и окрашивает пламя горелки в желтый цвет. При прокаливании при 200°C оно разлагается, теряя при этом 36,9% своей массы и превращаясь в вещество **Y**, которое тоже используется как пищевая добавка. Растворы **X** и **Y** в воде обладают щелочной реакцией. В ответе укажите молярную массу **X** в г/моль с точностью до целых.

Ответ: 84

Точное совпадение ответа — 4 балла

Решение.

Окрашивание пламени в желтый цвет указывает на присутствие в соли ионов натрия. Термическая неустойчивость данной соли (при том, что она является безводной), применение ее в качестве пищевой добавки позволяют прийти к заключению, что искомая соль – гидрокарбонат натрия. Подтвердим это расчетом:



Пусть проводится реакция с 2 моль гидрокарбоната, тогда масса исходной навески

$m_{\text{нав.}} = 2 \cdot M(\text{NaHCO}_3) = 2 \cdot 84 = 168$ г, масса газовой смеси $m_{\text{газ}} = 1 \cdot M(\text{CO}_2) + 1 \cdot M(\text{H}_2\text{O}) = 62$ г.

Тогда потеря массы составляет: $62/168=0,369$, что соответствует условию задачи. В результате реакции получается карбонат натрия, раствор которого из-за гидролиза дает щелочную среду.

Задание № 7

Общее условие:

Соединения металлов с водородом (гидриды) под действием воды образуют бесцветный горючий газ и гидроксид металла.

Условие:

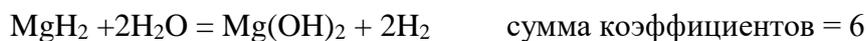
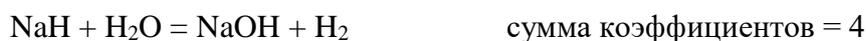
Составьте уравнения реакций гидридов натрия, магния и алюминия с водой (всего 3 уравнения). Запишите минимальную из сумм коэффициентов в составленных вами уравнениях.

Ответ: 4

Точное совпадение ответа — 2 балла

Решение.

Бесцветный горючий газ, образующийся в реакции воды с гидридами – водород, продукт соединения H^{-1} гидрида и H^{+} воды. Составим уравнения реакций гидридов металлов с водой:



Условие:

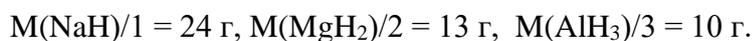
Одинаковые массы гидридов натрия, магния и алюминия прореагировали с избытком воды. Запишите формулу гидрида, при реакции которого выделился наибольший объём водорода. Для записи используйте латинские буквы.

Ответ: AlH_3

Точное совпадение ответа — 2 балла

Решение.

Согласно приведённым уравнениям из 1 моль NaH образуется 1 моль водорода, из 1 моль MgH_2 – 2 моль, а из AlH_3 – 3 моль. Оценим какая масса каждого из гидридов приходится на 1 моль H_2 :



Следовательно при одинаковой массе взятого для реакции с водой вещества, из гидрида алюминия образуется наибольшее количество H_2 , а значит и наибольший его объём.

Задание № 8

Общее условие:

Один и тот же объём аммиака может количественно прореагировать либо с 6 л кислорода без катализатора (*реакция 1*), либо с 10 л кислорода в присутствии платинового катализатора (*реакция 2*). (Объемы измерены при одинаковых температуре и давлении)

Составьте уравнения этих реакций, расставьте в них (наименьшие возможные целочисленные) коэффициенты.

Условие:

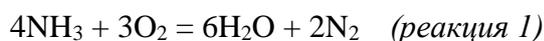
Укажите меньший из коэффициентов для продуктов реакции 1.

Ответ: 2

Точное совпадение ответа — 1 балл

Решение.

Без катализатора протекает окисление аммиака до воды и молекулярного азота:



2 (минимальный коэффициент при азоте)

Условие:

Укажите больший из коэффициентов для исходных веществ в реакции 2.

Ответ: 5

Точное совпадение ответа — 1 балл

Решение.

В присутствии катализатора, коэффициент при кислороде будет равен $3 \cdot 10\text{л}/6\text{л} = 5$ в расчёте на тот же коэффициент при аммиаке. «Лишние» атомы кислорода, очевидно, израсходуются на образование оксида азота (II), поскольку на каждый атом азота «избыточных» атомов кислорода будет $(5-3) \cdot 2/4 =$ по 1 шт. Эта реакция – первая стадия производства азотной кислоты: $4\text{NH}_3 + 5\text{O}_2 = 6\text{H}_2\text{O} + 4\text{NO}$ (*реакция 2*).

5 (максимальный коэффициент при кислороде)

Условие:

Какой объём аммиака вступает в вышеописанные реакции?

Ответ: принимается значение в интервале [7,9; 8,1]

Точное совпадение ответа — 1 балл

Решение.

Объёмы газов пропорциональны коэффициентам уравнений:

$$V(\text{NH}_3)/4 = V(\text{O}_2)/3$$

$$V(\text{NH}_3) = 4 \cdot V(\text{O}_2)/3 = 4 \cdot 6 \text{ л}/3 = 8 \text{ л.}$$

Аналогичный расчёт для реакции 2: $V(\text{NH}_3) = 4 \cdot V(\text{O}_2)/5 = 4 \cdot 10 \text{ л}/5 = \mathbf{8 \text{ л.}}$

Задание № 9

Условие:

Установите соответствие между ионом металла, находящимся в растворе, и признаками реакции, протекающей при постепенном добавлении при комнатной температуре в раствор соли металла раствора гидроксида натрия.

Варианты для соотнесения:

Zn^{2+}	Выпадение окрашенного осадка с последующим растворением
Cr^{3+}	Выпадение белого осадка с последующим растворением
Fe^{3+}	Выпадение окрашенного осадка, не растворяющегося в избытке щёлочи
Al^{3+}	Выпадение белого осадка, не растворяющегося в избытке щёлочи
Cs^{+}	Видимые признаки реакции отсутствуют
Ni^{2+}	

Ответ:

Zn^{2+} , Al^{3+} — Выпадение белого осадка с последующим растворением

Fe^{3+} , Ni^{2+} — Выпадение окрашенного осадка, не растворяющегося в избытке щёлочи

Cr^{3+} — Выпадение окрашенного осадка с последующим растворением

Cs^{+} — Видимые признаки реакции отсутствуют

Каждое правильное соответствие — 0.5 балла

Максимальный балл за задание — 3

Решение.

Среди перечисленных металлов, согласно таблице растворимости, только цезий образует растворимый гидроксид, поэтому в его случае видимых признаков реакции наблюдаться не будет.

Цинк и алюминий – s- и p-элементы, редко образующие окрашенные соединения. Их гидроксиды белого цвета. Кроме того, оба металла проявляют амфотерные свойства. Будет наблюдаться выпадение белого осадка с последующим растворением.

Гидроксиды оставшихся металлов окрашены. Выраженные амфотерные свойства проявляет только гидроксид хрома (III), который растворится в избытке щёлочи. Железо и никель, таким образом, дадут нерастворимые окрашенные осадки.

Задание № 10.1

Условие:

Бинарное соединение X массой 1,75 г поместили в 100 мл воды, при этом образовался прозрачный раствор, окрашивающий раствор фенолфталеина в малиновый цвет, и выделился газ. Этот газ смешали с 1,73 л водорода (н.у.) и закачали в сосуд с кислородом. Содержимое сосуда подожгли, по окончании реакции горения обнаружили, что в сосуде остались только кислород и вода, масса последней составила 2,70 г.

Напишите формулу вещества X.

Ответ: NaH или HNa

Точное совпадение ответа — 5 баллов

Решение.

Так как после реакции в сосуде были только кислород и водород, то и газ, который выделялся из раствора и затем закачивался в сосуд, мог состоять лишь из кислорода и/или водорода. Вода в данном случае явно не подходит (осталась в растворе), перекись водорода также осталась бы в растворе, а не переходила в газовую фазу. Значит, газ – либо водород, либо кислород.

Найдём количество воды после реакции в сосуде:

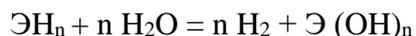
$$n(\text{H}_2\text{O}) = 2,7/18 = 0,15 \text{ моль}$$

В то же время закачивали в сосуд 1,73 л водорода, то есть

$$n(\text{H}_2) = 1,73/22,4 = 0,077 \text{ моль}$$

Сопоставляя эти данные с уравнением горения водорода $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2 \text{H}_2\text{O}$, видим, что 0,077 моль водорода, закаченных в сосуд, недостаточно для того, чтобы образовалось 0,15 моль воды, а это значит, что газ, который смешали с водородом – водород, и его количество равно $n(\text{H}_{2\text{выд.}}) = 0,15 - 0,077 = 0,073 \text{ моль}$.

Бинарным соединением, взаимодействующим с водой, с выделением водорода может быть гидрид металла, обозначим его (ЭH_n), уравнение его реакции с водой:



Откуда получаем, что количество гидрида равно:

$$n(\text{ЭH}_n) = n(\text{H}_{2\text{выд.}})/n = 0,073/n \text{ моль}$$

Тогда:

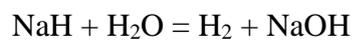
$$M(\text{ЭH}_n) = m(\text{ЭH}_n)/n(\text{ЭH}_n) = 24*n \text{ г/моль}$$

$$M(\text{Э}) = M(\text{ЭH}_n) - n*M(\text{H}) = 24*n - n = 23*n \text{ г/моль}$$

N	1	2	3	4
M(Э)	23 (Na)	46	69	92

Элемент Э – Na, а X – **NaH**

NaH реагирует с водой следующим образом:



Из-за образования щёлочи в растворе возникает щелочная среда, что может быть подтверждено малиновой окраской фенолфталеина.

Задание № 10.2

Условие:

Бинарное соединение X массой 0,58 г поместили в 100 мл воды, при этом образовался прозрачный раствор, окрашивающий раствор фенолфталеина в малиновый цвет, и выделился газ. Этот газ смешали с 1,73 л водорода (н.у.) и закачали в сосуд с кислородом. Содержимое сосуда подожгли, по окончании реакции горения обнаружили, что в сосуде остались только кислород и вода, масса последней составила 2,70 г.

Напишите формулу вещества X.

Ответ: LiH или HLi

Точное совпадение ответа — 5 баллов

Решение.

Так как после реакции в сосуде были только кислород и водород, то и газ, который выделялся из раствора и затем закачивался в сосуд, мог состоять лишь из кислорода и/или водорода. Вода в данном случае явно не подходит (осталась в растворе), перекись водорода также осталась бы в растворе, а не переходила в газовую фазу. Значит, газ – либо водород, либо кислород.

Найдём количество воды после реакции в сосуде:

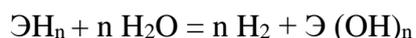
$$n(\text{H}_2\text{O}) = 2,7/18 = 0,15 \text{ моль}$$

В то же время закачивали в сосуд 1,73 л водорода, то есть

$$n(\text{H}_2) = 1,73/22,4 = 0,077 \text{ моль}$$

Сопоставляя эти данные с уравнением горения водорода $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2 \text{H}_2\text{O}$, видим, что 0,077 моль водорода, закаченных в сосуд, недостаточно для того, чтобы образовалось 0,15 моль воды, а это значит, что газ, который смешали с водородом – водород, и его количество равно $n(\text{H}_{2\text{выд.}}) = 0,15 - 0,077 = 0,073 \text{ моль}$.

Бинарным соединением, взаимодействующим с водой, с выделением водорода может быть гидрид металла, обозначим его (ЭH_n), уравнение его реакции с водой:



Откуда получаем, что количество гидрида равно:

$$n(\text{ЭH}_n) = n(\text{H}_{2\text{выд.}})/n = 0,073/n \text{ моль}$$

Тогда:

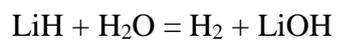
$$M(\text{ЭH}_n) = m(\text{ЭH}_n)/n(\text{ЭH}_n) = 8*n \text{ г/моль}$$

$$M(\text{Э}) = M(\text{ЭH}_n) - n*M(\text{H}) = 8*n - n = 7*n \text{ г/моль}$$

n	1	2	3	4
M(Э)	7 (Li)	14	21	28

Элемент Э – Li, а X – **LiH**

LiH реагирует с водой следующим образом:



Из-за образования щёлочи в растворе возникает щелочная среда, что может быть подтверждено малиновой окраской фенолфталеина.

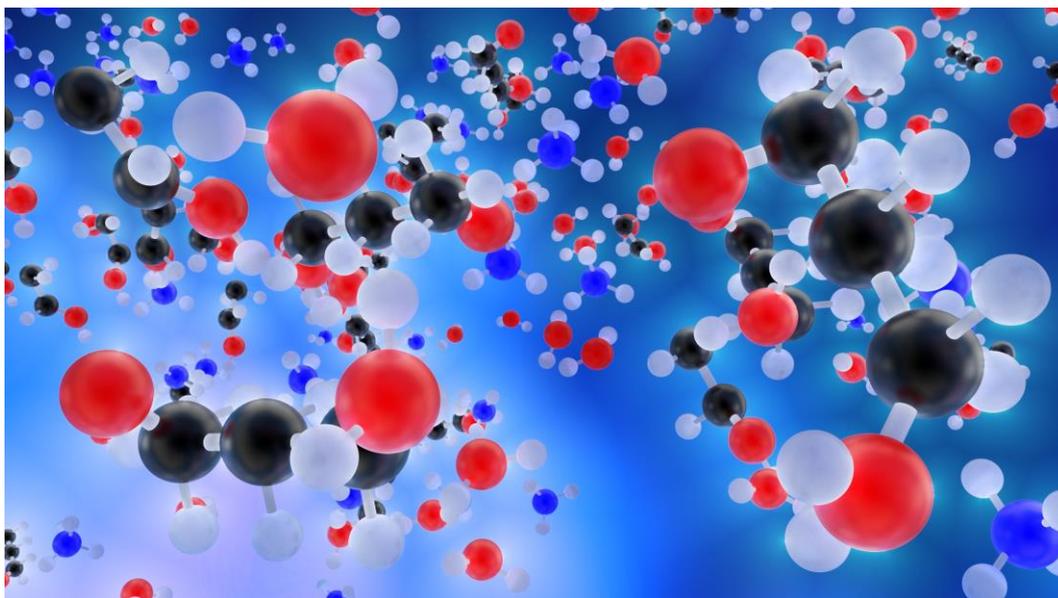
Задание № 11

Общее условие:

Неорганическая соль X при нагревании до 350 °С разложилась с образованием смеси трех веществ, являющихся наиболее распространенными компонентами земной атмосферы.

Запишите формулы продуктов разложения в порядке убывания их содержания в атмосфере.

Используйте прописные латинские буквы.



Условие:

Запишите формулу самого распространенного компонента.

Ответ: N2

Точное совпадение ответа — 1 балл

Условие:

Запишите формулу второго по распространенности компонента.

Ответ: O2

Точное совпадение ответа — 1 балл

Условие:

Запишите формулу третьего по распространенности компонента.

Ответ: H2O

Точное совпадение ответа — 1 балл

Решение.

Как известно, основными компонентами воздуха являются N_2 (78%) и O_2 (21%), присутствуют также заметные количества CO_2 , аргона и паров воды. В условии сказано, что разложившееся вещество – соль, а судя по тому, что в её составе нет металлов, это соль аммония (NH_4^+), содержащая атомы водорода. Водород среди распространённых компонентов атмосферы содержится только в составе воды, следовательно, третий компонент H_2O .

Ответ 1: N_2

Ответ 2: O_2

Ответ 3: H_2O

Условие:

Запишите формулу соли X.

Ответ: NH_4NO_3

Точное совпадение ответа — 2 балла

Решение.

Судя по тому, что других продуктов разложения нет, анион этой соли либо нитрат, либо нитрит. Разложение нитрита протекает без выделения кислорода: $NH_4NO_2 = N_2 + 2H_2O$. Разложение нитрата, как известно, сопровождается образованием веселящего газа N_2O , однако при быстром или сильном нагревании последний необратимо разлагается с образованием простых веществ. Таким образом, исходная соль – нитрат аммония:



Задание № 12

Условие:

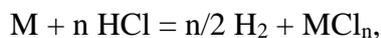
Простое вещество **X** долгое время стоило дороже золота. При растворении 1 г **X** в избытке соляной кислоты выделяется 1,24 л (н.у.) газа. Установите **X**. В ответе укажите его порядковый номер в таблице Менделеева.

Ответ: 13

Точное совпадение ответа — 5 баллов

Решение.

Водород из соляной кислоты выделяют некоторые металлы. Запишем реакцию в общем виде:



где n – валентность металла в хлориде.

$$n(\text{H}_2) = 1,24/22,4 = 0,0554 \text{ моль}$$

$$n(\text{M}) = (2/n) \cdot n(\text{H}_2) = 0,111/n \text{ моль}$$

$$M(\text{M}) = m(\text{M})/n(\text{M}) = 9,03n \text{ г/моль}$$

n	1	2	3	4
$M(\text{M})$	9 (Be)	18	27 (Al)	36

По молярным массам подходят бериллий и алюминий, но бериллий подходит только в том случае, если бы он проявлял валентность 1, в то время как в своих соединениях этот элемент двухвалентен. Алюминий подходит, если его валентность равна трем, что соответствует действительности. Его порядковый номер **13**.