

Межрегиональная олимпиада школьников
«БУДУЩИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ – БУДУЩЕЕ НАУКИ» 2025/26 уч.г.
ОЧНЫЙ ОТБОРОЧНЫЙ ТУР. *Время выполнения 90 минут*

1 вариант

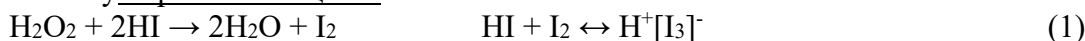
11 класс

Задача 11-1

При пропускании газа через промывную склянку Дрекселя с жидкостью может наблюдаться разогревание, охлаждение жидкости, помутнение, окрашивание, обесцвечивание. Предскажите возможные эффекты на имеющихся двух жидкостях (3%-ный водный раствор пероксида водорода; диэтиламин) и двух газах (йодоводород; фторид бора), всего 4 варианта. Обоснуйте предположение, напишите уравнения реакций, если они могут протекать в обычных условиях.

Решение

1а. Пероксид водорода будет прекрасно растворять и окислять HI до йода. Экзотермическая реакция. Осадок не выпадает, так как йод обратимо образует растворимую комплексную кислоту коричневого цвета.



1б. Водный раствор H_2O_2 растворяет фторид бора, гидролизует. Возникает дым из-за выделения HF. Пероксид водорода разлагается при каталитическом участии HF. Стекло мутнеет за счет реакции с плавиковой кислотой, вода мутнеет за счет осаждения малорастворимых CaSiF_6 и борной кислоты. Все реакции экзотермические. $2\text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{BF}_3 \rightarrow 2\text{H}_3\text{BO}_3\downarrow + 3\text{HF} + \text{O}_2$
(2)



1в. Диэтиламин реагирует с HI с образованием соли экзотермически. Помутнение, выпадение белого осадка соли.



1г. Диэтиламин реагирует с фторидом бора, образуя прочный комплекс, растворимый в амине. Экзотермическая реакция. Окрашивание не происходит.



Разбалловка

- | | |
|---|-------|
| 1. За написание 5 уравнений реакций по 4 балла | 20 б. |
| 2. За указание выделения теплоты, изменение цвета, прозрачности | 5 б. |
| Всего: | 25 б. |

Задача 11-2

Безводный этанол массой 46.2272 г, содержащий в качестве примеси 0.4915% оксида фосфора(V), сожгли в толстостенном металлическом сосуде в достаточном количестве кислорода и охладили до комнатной температуры. Полученный раствор освободили от растворенных газов, после чего к нему добавили равный по массе 0.4957%-ный раствор гидроксида калия. Напишите уравнения протекающих реакций. Определите, какие вещества и в каких количествах содержатся в конечном растворе, кислую или щелочную среду они создадут? Атомные массы элементов округляйте до целых чисел.

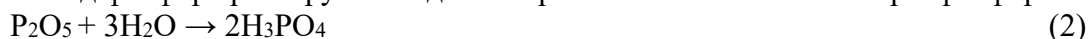
Решение

Исходная смесь содержала: P_2O_5 ($46.2272 \text{ г} \cdot 0.004915 = 0.2272 \text{ г}$, $0.2272 \text{ г} / 142 \text{ г/моль} = 0.0016 \text{ моль}$) и C_2H_5OH ($46.2272 - 0.2272 = 46 \text{ г}$, $46 \text{ г} / 46 \text{ г/моль} = 1 \text{ моль}$).

При сгорании этанола протекает следующая реакция:



Оксид фосфора реагирует с водой с образованием 0.0032 моль ортофосфорной кислоты:



Определим массу полученного раствора после освобождения от CO_2 .

$m(\text{р-ра}) = m(\text{исходного спиртового р-ра}) + m(\text{прореагировавших } 3 \text{ моль } O_2) -$

$m(\text{образовавшегося } 2 \text{ моль } CO_2) = 46.2272 + 96 - 88 = 54.2272 \text{ г}$.

К полученному раствору прибавили 54.2272 г 0.4957%-ного раствора КОН.

$m(\text{КОН}) = 54.2272 \text{ г} \cdot 0.004957 = 0.2688 \text{ г}$. $n(\text{КОН}) = 0.2688 \text{ г} / 56 \text{ г/моль} = 0.0048 \text{ моль}$.

При сливании растворов протекают следующие реакции:



На первой стадии реагирует вся кислота (0.0032 моль) и столько же КОН, образуется 0.0032 моль KH_2PO_4 . Остается $0.0048 - 0.0032 = 0.0016 \text{ моль}$ КОН.

На второй стадии 0.0016 моль КОН реагирует с 0.0016 моль KH_2PO_4 , образуется 0.0016 моль K_2HPO_4 и остается непрореагировавший КОН в количестве $0.0032 - 0.0016 = 0.0016 \text{ моль}$. Таким образом, конечный раствор содержит: 0.0016 моль KH_2PO_4 и 0.0016 моль K_2HPO_4 . Среда слабощелочная.

Разбалловка

За 4 уравнения реакций по 4 балла	16 б.
За формулы и расчет $n(\text{KH}_2\text{PO}_4)$ 0.0016 моль, $n(\text{K}_2\text{HPO}_4)$ 0.0016 моль по 4 б.	8 б.
За указание на слабощелочную среду	1 б.
Всего:	25 б.

Задача 11-3

Две соли щелочного металла А и неорганических кислородсодержащих двухосновных кислот состоят из одинаковых элементов, но имеют разный количественный состав и структуру.

Массовая доля кислорода в соли 1 составляет 45.0%, в соли 2 – 30.4%. В соли 1 на 2 атома металла приходится 1 атом неметалла и 4 атома кислорода, а в соли 2 – на 2 атома металла приходится 2 атома неметалла и 3 атома кислорода.

1) Определите состав и формулы солей, подтвердив их расчетами. Назовите соли и соответствующие кислоты.

2) Соль 2 применяют в аналитическом методе анализа – йодометрии.

Во время Первой мировой войны марлевые повязки, пропитанные раствором соли 2, применяли для защиты органов дыхания от воздействия хлора.

Запишите соответствующие уравнения реакций с участием соли 2.

3) В конце XVIII века французский химик Николя Леблан получил патент на получение соды из соли 1. Запишите уравнения реакций, положенных в основу этого метода.

4) Какую массу смеси солей с массовым отношением 3:2 и воды нужно взять, чтобы приготовить раствор с массовой концентрацией ионов металла A^+ 3%? Считать обе соли сильными электролитами.

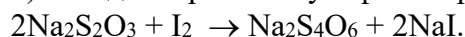
Решение

1) Составим систему уравнений с учетом массовой доли кислорода в каждой из солей:

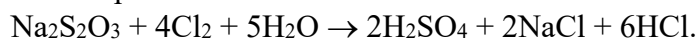
$$\begin{cases} \frac{64}{2A + B + 64} = 0.45 \text{ (соль 1)}, \\ \frac{48}{2A + 2B + 48} = 0.304 \text{ (соль 2)}. \end{cases}$$

Решаем систему и получаем, что $A = 23$ г/моль, $B = 32$ г/моль. Таким образом, А – это натрий, В – это сера. Соль 1 это Na_2SO_4 , сульфат натрия, соль серной кислоты, а соль 2 – $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ – тиосульфат натрия, соль тиосерной кислоты.

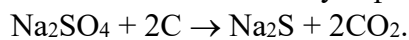
2) В йодометрии тиосульфат натрия применяется в качестве-восстановителя йода:



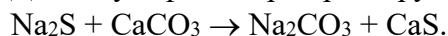
Марлевые повязки, пропитанные раствором тиосульфата натрия, применялись для защиты от хлора:



3) При получении соды методом Леблана смесь сульфата натрия, мела или известняка и древесного угля спекается при температуре приблизительно 1000°C . При этом сначала происходит восстановление сульфата натрия до сульфида:



Далее сульфид натрия реагирует с карбонатом кальция:



Полученную твердую смесь обрабатывают водой, карбонат натрия переходит в раствор, который затем упаривают, очищают перекристаллизацией и обезвоживают.

4) При растворении сульфата и тиосульфата натрия в воде происходит диссоциация солей. Пусть количество вещества сульфата натрия в исходной смеси $n(\text{Na}_2\text{SO}_4) = x$, а тиосульфата натрия $n(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = y$. При диссоциации каждой соли из 1 моля соли образуется 2 моля ионов натрия, общее количество ионов натрия будет $n(\text{Na}^+) = (2x + 2y)$ моль.

Пусть масса приготовляемого раствора равна 100 г, тогда количество ионов натрия в полученном растворе: $n(\text{Na}^+) = 0.03 \cdot 100 / 23 = 0.13$ моль. Тогда $2x + 2y = 0.13$ или, поделив обе части уравнения на 2, получим $x + y = 0.065$.

Также нам известно массовое соотношение солей в смеси. Масса сульфата натрия будет равна $m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 142x$, а тиосульфата натрия $m(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 158y$. Получим систему уравнений:

$$\begin{cases} x + y = 0.03 \\ \frac{142x}{158y} = \frac{3}{25} \end{cases}$$

Решаем систему и получаем $y = 0.031$ моль, $x = 0.035$ моль. Значит масса сульфата натрия будет $m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 142 \cdot 0.035 = 4.97$ г, а тиосульфата натрия – $m(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 158 \cdot 0.031 = 4.898$ г. Найдем массу воды $m(\text{H}_2\text{O}) = 100 - (4.97 + 4.898) = 90.132$ г.

Разбалловка

Часть ответа	Балл
Состав и формулы солей	5
Наименования веществ	2
Уравнения 4 реакций по 2 б.	8
Масса солей и воды	10
Всего	25

Задача 11-4

Максимальное давление газа в плотно надутым резиновым воздушным шарике объемом 10 л при комнатной температуре (20°C) составляет около 1.15 атм.

- Почему такой шарик, наполненный гелием, улетит, а наполненный воздухом нет? Рассуждения подтвердите вычислениями/цифрами.

- Почему в новогодние праздники, когда мы приобретаем гелиевые воздушные шары, нас предупреждают о том, что шарик может уменьшиться в размере при использовании его на улице? Как изменится объем гелиевого шарика при перемещении его из магазина на холод, если температура в помещении составляет 25°C , а температура окружающего воздуха минус 25°C ?

- Какое количество воды (в г) нужно подвергнуть электролизу при 20°C , чтобы образовавшаяся газовая смесь смогла лопнуть шарик? Какова плотность по гелию образовавшейся при электролизе воды газовой смеси?

Решение

1) Способность шарика оставаться на плаву или даже устремляться вверх зависит от нескольких факторов.

Поскольку объемы шариков одинаковы, в них при одних и тех же условиях находится одинаковое число молекул или в случае гелия атомов. Молекулы кислорода и азота и атомы гелия имеют разную массу (1 моль или $6.02 \cdot 10^{23}$ молекул азота весят 28 г, кислорода – 32 г, а гелия всего 4 г). То есть, плотность шариков будет значительно отличаться. На шарик будет действовать выталкивающая сила Архимеда, и как предметы с меньшей плотностью выталкиваются водой на поверхность, так и предметы с меньшей плотностью выталкиваются воздухом вверх, когда сила тяжести становится меньше силы Архимеда. Шарик с воздухом опускается, так как на материал шарика действует только сила тяжести.

2) Как известно, объем газа существенно зависит от температуры. При перемещении шарика из теплого помещения в холодное объем шарика уменьшается сообразно этому изменению температуры.

Зависимость объема газа от температуры при постоянном окружающем давлении определяется законом Гей-Люссака:

$$V_1/T_1 = V_2/T_2.$$

Переведем Цельсии в Кельвины: $T_1 = 273 + 25 = 298 \text{ К}$, $T_2 = 273 - 25 = 248 \text{ К}$.

Таким образом, получим: $V_2 = V_1 \cdot T_2/T_1 = 10 \text{ л} \cdot 248 \text{ К} / 298 \text{ К} = 8.32 \text{ л}$.

3) Шарик лопнет, если будет превышено давление при данном объеме, то есть, если количество газа превысит количество газа при заданных объеме, давлении и температуре. Найдем количество газа в шарике по уравнению Менделеева-Клапейрона:

$n = PV / RT$, где P – давление газа в шарике, V – объем шарика, R – универсальная газовая постоянная, которую для удобства вычислений здесь примем равной $0.082 \text{ л} \cdot \text{атм} / \text{моль} \cdot \text{К}$, T – абсолютная температура в Кельвинах.

$$n = \frac{1.15 \text{ атм} \cdot 10 \text{ л}}{0.082 \frac{\text{л} \cdot \text{атм}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 293 \text{ К}} = 0.479 \text{ моль}$$

Запишем уравнение электролиза воды:



Общее количество вещества газов в смеси должно быть более 0.479 моль.

Пусть образовалось x моль кислорода, значит тогда образовалось $2x$ моль водорода. Тогда $3x = 0.479$ и $x = 0.16$ моль. Значит в реакцию должно вступить более $2 \cdot 0.16 = 0.32$ моль воды и более $0.32 \cdot 18 = 5.76 \text{ г}$ воды.

Таким образом, чтобы создать давление в шарике более 1.15 атм необходимо подвергнуть электролизу воду массой более 5.76 г.

Средняя молярная масса смеси водорода и кислорода: $M_{\text{см}} = \varphi(\text{O}_2) \cdot M(\text{O}_2) + \varphi(\text{H}_2) \cdot M(\text{H}_2)$, где φ – объемная доля газов в смеси. Исходя из состава смеси, $\varphi(\text{O}_2) = 1/3$, а $\varphi(\text{H}_2) = 2/3$. Тогда $M_{\text{см}} = 1/3 \cdot 32 + 2/3 \cdot 2 = 12 \text{ (г/моль)}$.

Разбалловка

Часть ответа	Балл
Рассуждения, подкрепленные цифрами	6
Объем газа	6
Масса воды	10
Средняя молярная масса смеси	3
Всего	25

Межрегиональная олимпиада школьников
«БУДУЩИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ – БУДУЩЕЕ НАУКИ» 2025/26 уч.г.
ОЧНЫЙ ОТБОРОЧНЫЙ ТУР. *Время выполнения 90 минут*

1 вариант

10 класс

Задача 10-1

При пропускании газов через жидкости могут наблюдаться выпадение осадков, изменение цвета. Предскажите возможные эффекты на имеющихся двух жидкостях (1%-ный водный раствор перманганата калия; 1%-ный раствор однохлористой меди в аммиачной воде) и двух газах (йодоводород; пропин), всего 4 варианта.

Решение

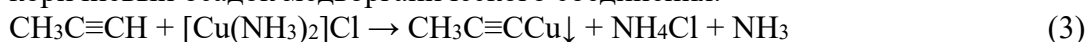
1а. Перманганат калия будет поглощать и окислять HI до йода. Выпадет бурый осадок MnO₂. Фиолетовая окраска KMnO₄ будет меняться на коричневую окраску йода.



1б. Перманганат калия будет поглощать и окислять пропин до уксусной и угольной кислот. Выпадет бурый осадок MnO₂. Фиолетовая окраска KMnO₄ будет ослабляться.



1в. Аммиачный раствор хлорида меди(I) синего цвета будет поглощать пропин. Выпадет коричневый осадок медьорганического соединения.



1г. HI будет растворяться и нейтрализовать аммиак, давать нерастворимый белый осадок CuI по реакции ионного обмена. Синяя окраска комплексного соединения меди исчезнет.



Разбалловка

1. За обоснованное описание эффектов 5 процессов, соответствующих 5 уравнениям, по 5

баллов 25 б.

Всего: 25 б.

Задача 10-2

Безводный этанол массой 46.2272 г, содержащий в качестве примеси 0.4915% оксида фосфора (V), сожгли в толстостенном металлическом сосуде в достаточном количестве кислорода и охладили до комнатной температуры. Полученный раствор освободили от растворенных газов, после чего к нему добавили равный по массе 0.4957%-ный раствор гидроксида калия. Напишите уравнения протекающих реакций. Определите, какие вещества и в каких количествах содержатся в конечном растворе, кислую или щелочную среду они создадут? Атомные массы элементов округляйте до целых чисел.

Решение

Исходная смесь содержала: P₂O₅ (46.2272 г · 0.004915 = 0.2272 г, 0.2272 г/142 г/моль = 0.0016 моль) и C₂H₅OH (46.2272 – 0.2272 = 46 г, 46 г/ 46 г/моль = 1 моль).

При сгорании этанола протекает следующая реакция:



Оксид фосфора реагирует с водой с образованием 0.0032 моль ортофосфорной кислоты:



Определим массу полученного раствора после освобождения от CO_2 .

$m(\text{р-ра}) = m(\text{исходного спиртового р-ра}) + m(\text{прореагировавших } 3 \text{ моль } \text{O}_2) - m(\text{образовавшегося } 2 \text{ моль } \text{CO}_2) = 46.2272 + 96 - 88 = 54.2272 \text{ г.}$

К полученному раствору прибавили 54.2272 г 0.4957%-ного раствора KOH .

$m(\text{KOH}) = 54.2272 \text{ г} \cdot 0.004957 = 0.2688 \text{ г}$ и

$n(\text{KOH}) = 0.2688 \text{ г} / 56 \text{ г/моль} = 0.0048 \text{ моль.}$

При сливании растворов протекают следующие реакции:



На первой стадии реагирует вся кислота (0.0032 моль) и столько же KOH , образуется 0.0032 моль KH_2PO_4 . Остается $0.0048 - 0.0032 = 0.0016$ моль KOH .

На второй стадии 0.0016 моль KOH реагирует с 0.0016 моль KH_2PO_4 , образуется 0.0016 моль K_2HPO_4 и остается непрореагировавший KOH ($0.0032 - 0.0016 = 0.0016$ моль). Таким образом, конечный раствор содержит:

KH_2PO_4 0.0016 моль, K_2HPO_4 0.0016 моль. Среда слабощелочная.

Разбалловка

За 4 уравнения реакций по 4 балла 16 б.

За формулы и расчет $n(\text{KH}_2\text{PO}_4)$ 0.0016 моль, $n(\text{K}_2\text{HPO}_4)$ 0.0016 моль по 4 б. 8 б.

За указание на слабощелочную среду 1 б.

Всего: 25 б.

Задача 10-3

Две соли неорганических кислородсодержащих двухосновных кислот состоят из одинаковых элементов, но имеют разный количественный состав и структуру.

В обеих солях A – это щелочной металл. Соль 1 $A_xB_yO_4$ содержит неметалл B в его высшей степени окисления, в Соли 2 $A_xB_{2y}O_3$ неметалл имеет разные степени окисления (одна из них высшая). Массовая доля кислорода в соли 1 составляет 45.0%, в соли 2 – 30.4%.

1) Определите состав и формулы солей, подтвердив их расчетами. Назовите соли и соответствующие кислоты.

2) Запишите по два уравнения реакции получения каждой из солей в лабораторных условиях, реакцию, лежащую в основу йодометрического титрования, название и состав минерала, в виде которого соль 1 встречается в природе. Почему соль 2 не встречается в природе?

3) Какую массу смеси солей с массовым отношением 2:5 (соль 1:соль 2) и воды нужно взять, чтобы приготовить 2 л раствора с молярной концентрацией ионов металла A^+ 0.03 моль/л? Считать обе соли сильными электролитами.

Решение

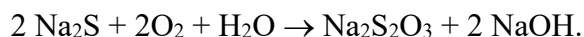
1) Поскольку A – это щелочной металл, а кислоты двухосновные, то $x = 2$. Составим систему уравнений с учетом массовой доли кислорода в каждой из солей:

$$\begin{cases} \frac{64}{2A + B + 64} = 0.45 \text{ (соль 1),} \\ \frac{48}{2A + 2B + 48} = 0.304 \text{ (соль 2).} \end{cases}$$

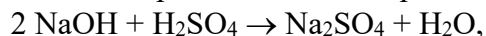
Решаем систему и получаем, что $A = 23$ г/моль, $B = 32$ г/моль. Таким образом, A – это натрий, B – это сера. Соль 1 это Na_2SO_4 , сульфат натрия, соль серной кислоты, а соль 2 – $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ – тиосульфат натрия, соль тиосерной кислоты.

2) В лабораторных условиях тиосульфат натрия может быть получен кипячением раствора сульфита натрия с избытком серы:

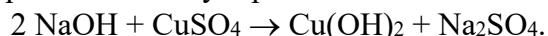
$\text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{S} \rightarrow \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, или при растворении сульфида натрия в воде в присутствии кислорода воздуха:



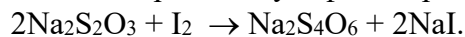
Сульфат натрия в лабораторных условиях может быть получен по реакции нейтрализации серной кислоты гидроксидом натрия:



по реакции обмена, например, при взаимодействии раствора гидроксида натрия с раствором медного купороса:



В йодометрии тиосульфат натрия применяется в качестве-восстановителя йода:



Сульфат натрия встречается в природе в виде декагидрата $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ – глауберовой соли, получившей свое название в честь своего первооткрывателя Иоганна Рудольфа Глаубера. В природе глауберова соль встречается в самородном состоянии в виде минерала мирабилита. Его название происходит от латинского «mirabilis» - чудесный, удивительный. В природе тиосульфат натрия и другие соли тиосерной кислоты не встречаются, поскольку неустойчивы и разлагаются с образованием SO_2 и S.

3) При растворении сульфата и тиосульфата натрия в воде происходит диссоциация солей. Пусть количество вещества сульфата натрия в исходной смеси $n(\text{Na}_2\text{SO}_4) = x$, а тиосульфата натрия $n(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = y$. При диссоциации каждой соли из 1 моля соли образуется 2 моля ионов натрия, общее количество ионов натрия будет $n(\text{Na}^+) = (2x + 2y)$ моль.

Найдем количество ионов натрия в растворе:

$n_{\text{р.в.}} = C \cdot V_{\text{р-ра}}$, $n(\text{Na}^+) = 0.03 \text{ моль/л} \cdot 2 \text{ л} = 0.06 \text{ моль}$, то есть $2x + 2y = 0.06$ или, поделив обе части уравнения на 2, получим $x + y = 0.03$.

Также нам известно массовое соотношение солей в смеси. Масса сульфата натрия будет равна $m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 142x$, а тиосульфата натрия $m(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 158y$. Получим систему уравнений:

$$\begin{cases} x + y = 0.03 \\ \frac{142x}{158y} = \frac{2}{5} = 0.4 \end{cases}$$

Решаем систему и получаем $y = 0.021 \text{ моль}$, $x = 0.009 \text{ моль}$. Значит масса сульфата натрия будет $m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 142 \cdot 0.009 = 1.278 \text{ г}$, а тиосульфата натрия – $m(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 158 \cdot 0.021 = 3.318 \text{ г}$. Пренебрегая объемами солей по сравнению с объемом воды, получаем, что для приготовления раствора необходимо 2 л, т.е. $\approx 2 \text{ кг}$ воды.

Разбалловка

Часть ответа	Балл
Состав и формулы солей	6
Наименования веществ	2
Уравнения 5 реакций по 1 б.	5
Название и состав минерала	2
Обоснование неустойчивости соли 2	2
Масса смеси и воды	8
Всего	25

Задача 10-4

Максимальное давление газа в плотно надутым резиновым воздушном шарике объемом 10 л при комнатной температуре (20°C) составляет около 1.15 атм.

- Почему такой шарик, наполненный гелием, улетит, а наполненный воздухом нет? Рассуждения подтвердите вычислениями/цифрами.

- Почему в новогодние праздники, когда мы приобретаем гелиевые воздушные шары, нас предупреждают о том, что шарик может уменьшиться в размере при использовании его на улице? Как изменится объем гелиевого шарика при перемещении его из магазина на холод, если температура в помещении составляет 20°C, а температура окружающего воздуха минус 20°C.

- Какое количество (в г) технического карбида алюминия, содержащего 5.5% примесей, нужно подвергнуть гидролизу, чтобы образовавшийся при этой температуре газ лопнул шарик?

Решение

1) Способность шарика оставаться на плаву или даже устремляться вверх зависит от нескольких факторов.

Поскольку объемы шариков одинаковы, в них при одних и тех же условиях находится одинаковое число молекул или в случае гелия атомов. Молекулы кислорода и азота и атомы гелия имеют разную массу (1 моль или $6.02 \cdot 10^{23}$ молекул азота весят 28 г, кислорода – 32 г, а гелия всего 4 г). То есть, плотность шариков будет значительно отличаться. На шарик будет действовать выталкивающая сила Архимеда, и как предметы с меньшей плотностью оказываются на поверхности воды, так и предметы с меньшей плотностью выталкиваются воздухом вверх, когда сила тяжести становится меньше силы Архимеда. Шарик с воздухом опускается, так как на материал шарика действует только сила тяжести.

2) Как известно, объем газа существенно зависит от температуры. При перемещении шарика из теплого помещения в холодное объем шарика уменьшается сообразно этому изменению температуры.

Зависимость объема газа от температуры при постоянном окружающем давлении определяется законом Гей-Люссака:

$$V_1/T_1 = V_2/T_2.$$

Переведем Цельсии в Кельвины: $T_1 = 273 + 20 = 293 \text{ К}$, $T_2 = 273 - 20 = 253 \text{ К}$.

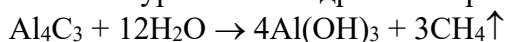
Таким образом, получим: $V_2 = V_1 \cdot T_2/T_1 = 10 \text{ л} \cdot 253 \text{ К}/293 \text{ К} = 8.63 \text{ л}$.

3) Шарик лопнет, если будет превышено давление при данном объеме, то есть, если количество газа превысит количество газа при заданных объеме, давлении и температуре. Найдем количество газа в шарике по уравнению Менделеева-Клапейрона:

$n = PV/RT$, где P – давление газа в шарике, V – объем шарика, R – универсальная газовая постоянная, которую для удобства вычислений здесь примем равной $0.082 \text{ л} \cdot \text{атм}/\text{моль} \cdot \text{К}$, T – абсолютная температура в Кельвинах.

$$n = \frac{1.15 \text{ атм} \cdot 10 \text{ л}}{0.082 \frac{\text{л} \cdot \text{атм}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 293 \text{ К}} = 0.479 \text{ моль}$$

Запишем уравнение гидролиза карбида алюминия:



Количество метана должно составить более 0.479 моль, значит количество чистого карбида алюминия должно составить более $0.479/3 = 0.16$ моль. Масса чистого карбида алюминия составит $m(\text{Al}_4\text{C}_3) = 0.16 \cdot 144 = 23.04 \text{ г}$. Масса образца технического карбида будет $m(\text{Al}_4\text{C}_3)_{\text{тех}} = 23.04/0.945 = 24.38 \text{ г}$. Таким образом, чтобы создать давление в шарике более 1.15 атм необходимо подвергнуть гидролизу образец технического карбида алюминия массой более 24.38 г.

Разбалловка

Часть ответа	Балл
Рассуждения, подкрепленные цифрами	6
Объем газа	8
Масса карбида алюминия	11
Всего	25

Межрегиональная олимпиада школьников
«БУДУЩИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ – БУДУЩЕЕ НАУКИ» 2025/26 уч.г.
ОЧНЫЙ ОТБОРОЧНЫЙ ТУР. *Время выполнения 90 минут*

1 вариант
9 класс

Задача 9-1

Бинарное желтое вещество А, состоящее из двухвалентных металла и неметалла, не растворяется в воде, плавится при 565°C, кипит при 965°C, ядовито, применяется как пигмент в масляных красках, полупроводник в электронике, материал для изготовления стекол в лазерной технике, светодиодов. Вещество А реагирует с концентрированной соляной кислотой с образованием соли В и выделением газообразного продукта, молярная масса которого в 4.2353 раза меньше, чем у А. Соль В может образовать двуводный кристаллогидрат с массовой долей воды 16.438%. Определите элементы, составляющие А, формулы А, В. Составьте уравнение реакции. Атомные массы элементов округляйте до целых чисел, за исключением $M_r(\text{Cl})=35.5$.

Решение

Примем формулу вещества А за MetX . Тогда молярная масса кристаллогидрата дихлорида металла ($\text{MetCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) равна $36/0.16438 = 219$ г/моль. Молярная масса металла равна $219 - 71 - 36 = 112$. $\text{Met} = \text{Cd}$.

Определим неметалл X. $M(\text{CdX})/M(\text{H}_2\text{X}) = 4.2353 = (112 + M(\text{X})) / (2 + M(\text{X}))$.

$2 \cdot 4.2353 + 4.2353M(\text{X}) = 2 + M(\text{X})$. Отсюда $M(\text{X}) = 32$. $\text{X} = \text{S}$.

Металл – Cd; неметалл – S; А – CdS; В – CdCl₂.

$\text{CdS} + 2\text{HCl} = \text{CdCl}_2 + \text{H}_2\text{S} \uparrow$

Разбалловка

- | | |
|---|-------|
| 1. За определение Cd, S, CdS, CdCl ₂ по 5 б. | 20 б. |
| 2. За уравнение реакции | 5 б. |
| Всего: | 25 б. |

Задача 9-2

Безводный этанол массой 46.2272 г, содержащий в качестве примеси 0.4915% оксида фосфора(V), сожгли в толстостенном металлическом сосуде в достаточном количестве кислорода и охладили до комнатной температуры. Полученный раствор освободили от растворенных газов, после чего к нему добавили равный ему по массе 0.33%-ный раствор гидроксида калия. Напишите уравнения протекающих реакций. Определите, какие вещества и в каких количествах содержатся в конечном растворе.

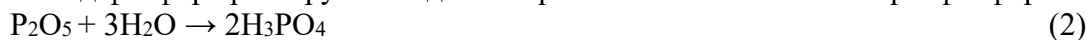
Решение

Исходная смесь содержала: P_2O_5 ($46.2272 \text{ г} \cdot 0.004915 = 0.2272 \text{ г}$, $0.2272 \text{ г} / 142 \text{ г/моль} = 0.0016 \text{ моль}$) и $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ($46.2272 - 0.2272 = 46 \text{ г}$, $46 \text{ г} / 46 \text{ г/моль} = 1 \text{ моль}$).

При сгорании этанола протекает следующая реакция:



Оксид фосфора реагирует с водой с образованием 0.0032 моль ортофосфорной кислоты:



Определим массу полученного раствора после освобождения от CO_2 .

$m(\text{р-ра}) = m(\text{исходного спиртового р-ра}) + m(\text{прореагировавших } 3 \text{ моль } \text{O}_2) - m(\text{образовавшегося } 2 \text{ моль } \text{CO}_2) = 46.2272 + 96 - 88 = 54.2272 \text{ г}$.

К полученному раствору прибавили 54.2272 г 0.33%-ного раствора KOH. $m(\text{KOH}) = 54.2272 \text{ г} \cdot 0.0033 = 0.1792 \text{ г}$. $n(\text{KOH}) = 0.1792 \text{ г} / 56 \text{ г/моль} = 0.0032 \text{ моль}$.

При сливании растворов образуется дигидрофосфат калия:



Разбалловка

За 3 уравнения реакций по 5 б. 15 б.
 За формулу и расчет $n(\text{KH}_2\text{PO}_4) = 0.032$ моль по 5 б. 10 б.
 Всего: 25 б.

Задача 9-3

Две соли неорганических кислородсодержащих двухосновных кислот состоят из одинаковых элементов, но имеют разный количественный состав и структуру.

В обеих солях А – это щелочной металл. Соль 1 $\text{A}_x\text{B}_y\text{O}_4$ содержит неметалл В в его высшей степени окисления, в Соли 2 $\text{A}_x\text{B}_2\text{O}_3$ неметалл имеет разные степени окисления (одна из них высшая). Массовая доля кислорода в соли 1 составляет 45.0%, в соли 2 – 30.4%.

1) Определите состав и формулы солей, подтвердив их расчетами. Назовите соли и соответствующие кислоты.

2) Запишите по два уравнения реакции получения каждой из солей в лабораторных условиях, реакцию, лежащую в основу йодометрического титрования, название и состав минерала, в виде которого соль 1 встречается в природе. Почему соль 2 не встречается в природе?

3) Какую массу смеси солей с массовым отношением 2:5 (соль 1:соль 2) и воды нужно взять, чтобы приготовить 2 л раствора с молярной концентрацией ионов металла A^+ 0.03 моль/л? Считать обе соли сильными электролитами.

Решение

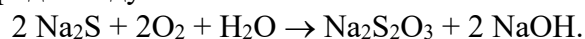
1) Поскольку А – это щелочной металл, а кислоты двухосновные, то $x = 2$. Составим систему уравнений с учетом массовой доли кислорода в каждой из солей:

$$\begin{cases} \frac{64}{2A + B + 64} = 0.45 \text{ (соль 1),} \\ \frac{48}{2A + 2B + 48} = 0.304 \text{ (соль 2).} \end{cases}$$

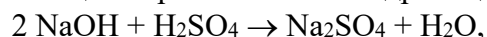
Решаем систему и получаем, что $A = 23$ г/моль, $B = 32$ г/моль. Таким образом, А – это натрий, В – это сера. Соль 1 это Na_2SO_4 , сульфат натрия, соль серной кислоты, а соль 2 – $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ – тиосульфат натрия, соль тиосерной кислоты.

2) В лабораторных условиях тиосульфат натрия может быть получен кипячением раствора сульфита натрия с избытком серы:

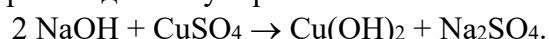
$\text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{S} \rightarrow \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, или при растворении сульфида натрия в воде в присутствии кислорода воздуха:



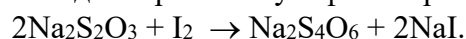
Сульфат натрия в лабораторных условиях может быть получен по реакции нейтрализации серной кислоты гидроксидом натрия:



по реакции обмена, например, при взаимодействии раствора гидроксида натрия с раствором медного купороса:



В йодометрии тиосульфат натрия применяется в качестве-восстановителя йода:



Сульфат натрия встречается в природе в виде декагидрата $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ – глауберовой соли, получившей свое название в честь своего первооткрывателя Иоганна Рудольфа Глаубера. В природе глауберова соль встречается в самородном состоянии в виде минерала мирабилита. Его название происходит от латинского «mirabilis» - чудесный, удивительный. В природе

тиосульфат натрия и другие соли тиосерной кислоты не встречаются, поскольку неустойчивы и разлагаются с образованием SO_2 и S .

3) При растворении сульфата и тиосульфата натрия в воде происходит диссоциация солей. Пусть количество вещества сульфата натрия в исходной смеси $n(\text{Na}_2\text{SO}_4) = x$, а тиосульфата натрия $n(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = y$. При диссоциации каждой соли из 1 моля соли образуется 2 моля ионов натрия, общее количество ионов натрия будет $n(\text{Na}^+) = (2x + 2y)$ моль.

Найдем количество ионов натрия в растворе:

$n_{\text{р.в.}} = C \cdot V_{\text{р-ра}}$, $n(\text{Na}^+) = 0.03$ моль/л \cdot 2 л = 0.06 моль, то есть $2x + 2y = 0.06$ или, поделив обе части уравнения на 2, получим $x + y = 0.03$.

Также нам известно массовое соотношение солей в смеси. Масса сульфата натрия будет равна $m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 142x$, а тиосульфата натрия $m(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 158y$. Получим систему уравнений:

$$\begin{cases} x + y = 0.03 \\ \frac{142x}{158y} = \frac{2}{5} = 0.4 \end{cases}$$

Решаем систему и получаем $y = 0.021$ моль, $x = 0.009$ моль. Значит масса сульфата натрия будет $m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 142 \cdot 0.009 = 1.278$ г, а тиосульфата натрия – $m(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 158 \cdot 0.021 = 3.318$ г. Пренебрегая объемами солей по сравнению с объемом воды, получаем, что для приготовления раствора необходимо 2 л, т.е. ≈ 2 кг воды.

Разбалловка

Часть ответа	Балл
Состав и формулы солей	6
Наименования веществ	2
Уравнения 5 реакций по 1 б.	5
Название и состав минерала	2
Обоснование неустойчивости соли 2	2
Масса смеси и воды	8
Всего	25

Задача 9-4

Максимальный объем воздуха в надутым резиновом шарике среднего размера при нормальных условиях составляет около 5 л.

- Почему такой шарик, наполненный гелием, улетит, а наполненный воздухом нет? Рассуждения подтвердите вычислениями/цифрами.

- Считая воздух в шарике сухим и состоящим на 79% по объему из азота и на 21% из кислорода определить массовую долю кислорода и азота в нем.

- Определите плотность по гелию газа, который останется в шарике, если гипотетически внести в него 4.018 г порошкообразного лития, и его объем (н.у.). Запишите уравнения реакций.

Решение

1) $V(\text{воз}) = V(\text{He})$, значит $n(\text{воз}) = n(\text{He})$. Азот и кислород тяжелее гелия, $M(\text{O}_2) = 16$, $M(\text{N}_2) = 28$, $M(\text{He}) = 4$ г/моль соответственно, поэтому плотность шариков будет различной. В случае с гелием выталкивающая сила Архимеда будет больше силы тяжести, действующей на материал шарика, и шарик поднимется.

3) Парциальный объем азота в шарике составит $V(\text{N}_2) = 0.79 \cdot 5 \text{ л} = 3.95 \text{ л}$, а объем кислорода $V(\text{O}_2) = 0.21 \cdot 5 \text{ л} = 1.05 \text{ л}$.

Количество вещества азота в шарике составит $n(\text{N}_2) = 3.95 \text{ л} / 22.4 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} = 0.176$ моль и масса азота будет $m(\text{N}_2) = 0.176 \text{ моль} \cdot 28 \text{ г/моль} = 4.93$ г. Количество вещества кислорода в шарике составит $n(\text{O}_2) = 1.05 \text{ л} / 22.4 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} = 0.047$ моль и масса кислорода будет $m(\text{O}_2) = 0.047 \text{ моль} \cdot 32 \text{ г/моль} = 1.5$ г.

Масса воздуха в шарике есть суммарная масса азота и водорода, то есть $m(\text{воз}) = 4.93 + 1.5 = 6.43$ г, массовая доля азота $\omega(\text{N}_2) = 4.93/6.43 = 0.767$ или 76.7%, массовая доля кислорода $\omega(\text{O}_2) = 1.5/6.43 = 0.233$ или 23.3%.

5) При обычных условиях литий будет сначала реагировать с более активным кислородом воздуха с образованием оксида $4\text{Li} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{Li}_2\text{O}$, а затем он будет реагировать с менее активным азотом с образованием нитрида $6\text{Li} + \text{N}_2 \rightarrow 2\text{Li}_3\text{N}$.

$$n(\text{Li}) = 4.018 \text{ г} / 7 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1} = 0.574 \text{ моль}.$$

В реакцию с O_2 вступит $4 \cdot 0.047 = 0.188$ моль Li. В реакцию с N_2 вступит оставшееся количество $0.574 - 0.188 = 0.386$ моль Li. Значит N_2 в эту реакцию вступит $0.386/6 = 0.0643$ моль. Таким образом, в шарике останется только $0.176 - 0.0643 = 0.1117$ моль азота.

$$\text{Плотность азота по гелию } D_{\text{He}} = M(\text{N}_2)/M(\text{He}) = 28/4 = 7.$$

$$\text{Объем азота при н.у.: } V = 0.1117 \text{ моль} \cdot 22.4 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} = 2.5 \text{ л}.$$

Разбалловка

Часть ответа	Балл
Рассуждения, подкрепленные цифрами	5
Массовые доли газов 2 по 4б.	8
Уравнения реакций 2 по 2б	4
Плотность газа	6
Объем газа	2
Всего	25

Межрегиональная олимпиада школьников
«БУДУЩИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ – БУДУЩЕЕ НАУКИ» 2025/26 уч.г.
ОЧНЫЙ ОТБОРОЧНЫЙ ТУР. *Время выполнения 90 минут*

1 вариант

8 класс

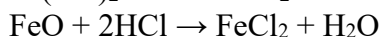
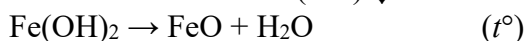
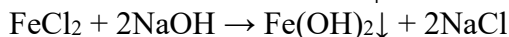
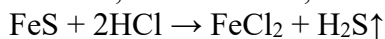
Задача 8-1

Нерастворимое в воде бинарное вещество **A**, имеющее молярную массу 88, представляющее порошок черного цвета, реагирует с концентрированной соляной кислотой с выделением газообразного вещества **B** с запахом тухлых яиц, причем 17 г его при нормальных условиях занимают объем 11.2 л. Образующаяся при этом соль **C** реагирует с раствором NaOH, при этом образуется серый осадок вещества **D**. При нагревании вещества **D** в отсутствие кислорода образуется черное вещество **E**, которое в реакции с соляной кислотой образует дихлорид металла **C**, но эта реакция не сопровождается выделением газа. Определите формулы веществ и напишите уравнения реакций.

Решение

$n(\text{B}) = 11.2/22.4 = 0.5$ моль. $M_r(\text{B}) = 17/0.5 = 34$. Газ **B** – это H_2S . Металл – Fe.

A – FeS ; **B** – H_2S ; **C** – FeCl_2 ; **D** – $\text{Fe}(\text{OH})_2$; **E** – FeO .



Разбалловка

1. За определение 5 веществ по 3 б. 15 б.

2. За 4 уравнения реакций по 2.5 б. 10 б.

Всего: 25 б.

Задача 8-2

Метан объемом 67.2 л для полного сгорания до углекислого газа и воды требует **X** моль кислорода или **Y** л воздуха (нормальные условия). Для связывания выделившего углекислого газа необходимо минимум **Z** л 0.1%-ного водного раствора гидроксида кальция с плотностью 1 г/мл. Напишите уравнение реакции горения метана и вычислите значения **X**, **Y**, **Z**. Примите объемную долю кислорода в воздухе за 21%.

Решение



Найдем количество метана $n(\text{CH}_4) = 67.2/22.4 = 3$ моль, тогда $n(\text{O}_2) = 6$ моль, и $X=6$.

Объем кислорода составит $V(\text{O}_2) = 6 \cdot 22.4 = 134.4$ л, тогда объем воздуха $V(\text{воздуха}) = 134.4/0.21 = 640$ л, и $Y=640$.



$n(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 3$ моль. $m(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 3 \cdot 74 = 222$ г. $m(\text{р-ра Ca}(\text{OH})_2) = 222/0.001 = 222000$ г = 222 кг. $V(\text{р-ра Ca}(\text{OH})_2) = 222$ л. $Z = 222$.

Разбалловка

За 2 уравнения по 5 б. 10 б.

За расчет $X=6$, $Y=640$, $Z=222$ по 3 б. 15 б.

Всего: 25 б.

Задача 8-3

Две соли неорганических кислородсодержащих кислот состоят из одинаковых элементов, но имеют разный количественный состав и структуру.

В системе двух уравнений x и y – молярные массы элементов неметалла X и металла Y.

$$\begin{cases} x + 2y = 78 + 64 \text{ (соль 1)} \\ 2x + 2y = 110 + 48 \text{ (соль 2)} \end{cases}$$

Уравнения получены на основе формул указанных солей. Одна из них (соль 1) содержит неметалл в его высшей валентности, во второй (соль 2) неметалл имеет разные валентности (одна из них высшая).

- 1) Определите состав и формулы солей. Назовите соли и соответствующие кислоты.
- 2) Изобразите структурные формулы соли 1 и соли 2.
- 3) Как называется десятиводный кристаллогидрат соли 1? В состав какого минерала он входит?
- 4) Предложите реакции замещения, соединения и обмена, по которым можно получить соль 1.
- 5) Предложите способ получения соли 2.

Решение

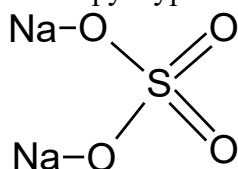
1) Решим систему уравнений и получим $x = 32$, $y = 23$. Поскольку в условии сказано, что это соли кислородсодержащих кислот, для которых составлено уравнение, значит каждая из них также содержит кислород. Соль 1 будет иметь формулу Na_2SO_a , а соль 2 – $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_b$. Определим a и b , подставив в уравнение молярные массы металла, неметалла и кислорода:

$$\begin{cases} 2 \cdot 23 + 32 + a \cdot 16 = 78 + 64 \text{ (соль 1)} \\ 2 \cdot 23 + 2 \cdot 32 + b \cdot 16 = 110 + 48 \text{ (соль 2)} \end{cases}$$

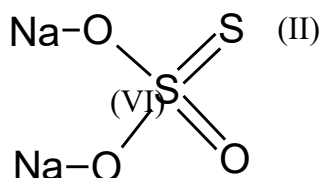
Решаем уравнения и получаем: $a = 4$, $b = 3$. Получаем, что соль 1 это Na_2SO_4 , сульфат натрия, соль серной кислоты, а соль 2 – $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ – тиосульфат натрия, соль тиосерной кислоты.

2) Изобразим структурные формулы солей:

Сульфат
натрия



Тиосульфат
натрия



3) Десятиводный кристаллогидрат (декагидрат) сульфата натрия называют глауберовой солью, получившей свое название в честь своего первооткрывателя Иоганна Рудольфа Глаубера, который обнаружил ее в составе минеральных вод во время реабилитации после болевашного в те времена тифа.

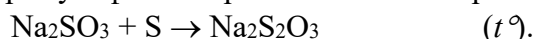
Глауберова соль встречается в природе в самородном состоянии в виде минерала мирабилита. Его название происходит от латинского «mirabilis» - чудесный, удивительный.

4) $2\text{Na} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\uparrow$ – реакция замещения.

$\text{Na}_2\text{O} + \text{SO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4$ – реакция соединения.

$2\text{NaOH} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ – реакция обмена.

5) В лабораторных условиях тиосульфат натрия может быть получен кипячением раствора сульфита натрия с избытком серы:



Разбалловка

Часть ответа	Балл
Состав и формулы солей	7
Наименования веществ	4
Структурные формулы солей 2 по 2 б	4
Кристаллогидрат	1

Минерал	1
Уравнения 4 реакций по 2 б.	8
Всего	25

Задача 8-4

Предположим, что максимальный объем воздуха в надутым резиновом шарике среднего размера при нормальных условиях составляет 5 л.

- Считая воздух сухим, определите массу кислорода и азота в таком шарике, принимая объемную долю кислорода за 21%, азота – за 79%.

- Во сколько раз масса шарика с воздухом больше массы такого же шарика с гелием, если пренебречь массой резиновой оболочки?

- Определите массу магния, которая может прореагировать с воздухом такого объема (н.у.) при нагревании до $\sim 600^\circ\text{C}$. Запишите уравнения реакций.

Решение

1. Объем азота в шарике составит $V(\text{N}_2) = 0.79 \cdot 5 \text{ л} = 3.95 \text{ л}$, а объем кислорода $-V(\text{O}_2) = 0.21 \cdot 5 \text{ л} = 1.05 \text{ л}$.

Количество вещества азота в шарике составит

$n(\text{N}_2) = 3.95 \text{ л} / 22.4 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} = 0.176 \text{ моль}$ и масса азота будет $m(\text{N}_2) = 0.176 \text{ моль} \cdot 28 \text{ г/моль} = 4.93 \text{ г}$.

Количество вещества кислорода в шарике составит

$n(\text{O}_2) = 1.05 \text{ л} / 22.4 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} = 0.047 \text{ моль}$ и масса кислорода будет $m(\text{O}_2) = 0.047 \text{ моль} \cdot 32 \text{ г/моль} = 1.5 \text{ г}$.

2. Масса воздуха в шарике есть суммарная масса азота и водорода, то есть

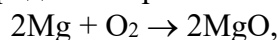
$m(\text{воз}) = 4.93 + 1.5 = 6.43 \text{ г}$.

Массу гелия определим следующим образом: количество гелия в 5 л такое же, как общее количество азота и кислорода, т. е. $n(\text{He}) = 5 \text{ л} / 22.4 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} = 0.223 \text{ моль}$.

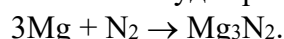
Масса гелия будет $m(\text{He}) = 0.223 \text{ моль} \cdot 4 \text{ г/моль} = 0.892 \text{ г}$.

5 л воздуха тяжелее 5 л гелия в $\frac{m(\text{воз})}{m(\text{He})} = 6.43 / 0.892 = 7.2$ раза.

3. При нагревании до $\approx 600^\circ\text{C}$ магний сначала будет реагировать с более активным кислородом с образованием оксида:



а затем он будет реагировать с менее активным азотом с образованием нитрида:



В реакцию с кислородом вступит $0.047 \cdot 2 = 0.094$ моль магния.

В реакцию с азотом – $0.176 \cdot 3 = 0.528$ моль магния.

Всего в реакцию с воздухом вступит $0.094 + 0.528 = 0.622$ моль и $0.622 \text{ моль} \cdot 24 \text{ г/моль} = 14.928 \text{ г}$ магния.

Разбалловка

Часть ответа	Балл
Массы кислорода и азота	8
Рассуждения, подкрепленные вычислениями	5
Массовые доли газов 2 по 4б.	8
Уравнения реакций 2 по 2б	4
Всего	25