

9-10 классы Олимпиада «Ломоносов» 2024/25

Задача 1. Сплав.

Юный Емельян решил применить полученные на уроках химии знания для создания поделки на конкурс путем электрохимического травления рисунка. Рассчитайте значение тока для анодной обработки медно-никелевого сплава ($\rho = 8.5 \text{ г/см}^3$) для получения за 30 минут линии длиной 15 см, шириной 3 мм и глубиной 2 мм. Выход реакции составляет 60%. Известно, что данный сплав лишь частично растворяется в растворе разбавленной серной кислоты с выделением газа объем 17.11 л при массе образца сплава 91.9 г (давление – 1 атм, температура комнаты – 25°C). Ответ укажите с точностью до десятых.

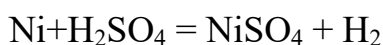
Справочные данные для решения:

Принять универсальную газовую постоянную равной $8.31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \times \text{К}}$, 1 атм = 101300 Па, постоянная Фарадея $F = 96500 \frac{\text{Кл}}{\text{моль}}$.

В ходе решения все получаемые значения следует округлять до десятых.

Решение:

1) Нужно определить состав и среднюю молярную массу сплава. С разбавленной серной кислотой реагирует только Ni:



Рассчитаем количество выделившегося водорода по уравнению Менделеева-Клапейрона:

$$P \times V = n \times R \times T \rightarrow n(\text{H}_2) = \frac{P \times V}{R \times T} = \frac{101300 \text{ Па} \times 0.01711 \text{ м}^3}{8.31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \times \text{К}} \times 298 \text{ К}} = 0.6999 \text{ моль} = 0.7 \text{ моль}$$

Отсюда $n(\text{Ni}) = n(\text{H}_2) = 0.7 \text{ моль}$; $m(\text{Ni}) = 41.1 \text{ г}$.

$m(\text{Cu}) = 91.9 \text{ г} - 41.1 \text{ г} = 50.8 \text{ г}$; $n(\text{Cu}) = 0.8 \text{ моль}$;

$$M_{\text{ср}}(\text{сплава}) = \frac{m(\text{сплава})}{n(\text{Cu}) + n(\text{Ni})} = \frac{91.9 \text{ г}}{1.5 \text{ моль}} = 61.3 \text{ г/моль}$$

2) Рассчитаем массу сплава, подвергшуюся анодированию:

$$m(\text{сплава}) = V \cdot \rho = 15 \cdot 0.3 \cdot 0.2 \cdot 8.5 = 7.7 \text{ г}$$

3) Определим значения тока по закону Фарадея:

$$I = \frac{n * F * m(\text{сплава})}{t * \eta * M_{\text{ср}}} = \frac{2 * 96500 * 7.7}{1800 * 0.6 * 61.3} = 22.4 \text{ А}$$

где n – число электронов, η – выход реакции.

Ответ: $22.4 \pm 0.1 \text{ А}$.

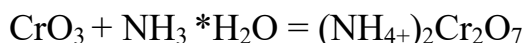
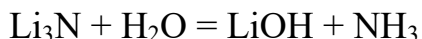
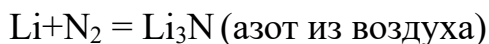
Критерии:

1. Рассчитана масса сплава, подвергшаяся анодированию— 5 баллов.
2. Рассчитано количество моль водорода по уравнению Менделеева-Клапейрона – 10 баллов;
3. Определено значение тока по закону Фарадея— 10 баллов.

Максимум баллов за эту задачу: **25** баллов.

Задача 2. Вулканчик.

Учитель химии Илья Юрьевич хотел показать школьникам опыт «вулканчик», однако в школьной лаборатории не оказалось бихромата аммония, а из реактивов нашелся лишь хромат калия, серная кислота и металлический литий. Удается ли Илье Юрьевичу запланированный опыт? Напишите соответствующие реакции.

Решение:

Ответ: да

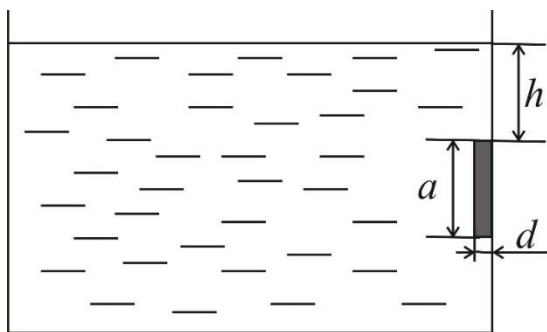
Критерии:

1. Верный ход мыслей— 10 баллов.
2. Приведены соответствующие реакции— 15 баллов;

Максимум баллов за эту задачу: **25** баллов.

Задача 3. Пластинка внутри аквариума.

В большой аквариум налита вода. Внутри аквариума к его вертикальной стенке плотно прижата тонкая квадратная стеклянная пластина таким образом, что вода между ней и стенкой аквариума не проникает (см. рисунок). Верхний край пластины расположен горизонтально на глубине $h = 10$ см от поверхности воды. Размеры пластины $a \times a \times d = 5$ см $\times$ 5 см $\times$ 0,6 см. Найдите модуль силы, с которой вода действует на пластинку, если она находится в равновесии. Плотность воды $\rho_v = 1000$ кг/м³, модуль ускорения свободного падения $g = 10$ м/с².



Решение.

Вода действует на стороны пластинки, соприкасающиеся с водой. Во-первых, это горизонтальная сила $\vec{F}_x$, действующая на боковую квадратную поверхность, площадь которой равна $S = a^2$. Во-вторых, это пара вертикально направленных сил, действующих на верхнюю и нижнюю грани, имеющие площади $s = a \cdot d$. Силы, действующие на узкие боковые грани, компенсируют друг друга.

Чтобы найти горизонтальную силу F_x , учтём, что гидростатическое давление воды увеличивается с глубиной по закону прямой пропорциональности: $p = \rho_{\text{в}} g y$, где y – глубина. На уровне верхней грани пластинки давление будет равно $p_1 = \rho_{\text{в}} g h$, а давление на уровне нижней грани пластинки равно соответственно $p_2 = \rho_{\text{в}} g (h + a)$. Так как сила, действующая на площадку S вычисляется по формуле $F = p \cdot S$, то для того, чтобы вычислить силу, действующую на всю поверхность площадью $S = a^2$, нам необходимо усреднить гидростатическое давление:

$$p_{\text{ср}} = \frac{p_1 + p_2}{2} = \frac{\rho_{\text{в}} g h + \rho_{\text{в}} g (h + a)}{2} = \rho_{\text{в}} g \frac{2h + a}{2}.$$

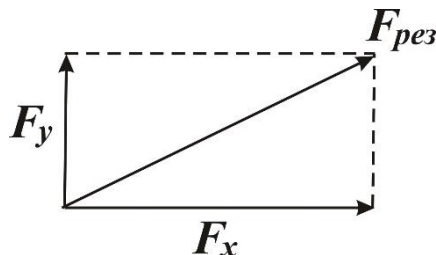
Отсюда горизонтальная сила F_x равна:

$$F_x = \rho_{\text{в}} g \left(\frac{2h + a}{2} \right) \cdot a^2.$$

Найдём теперь результирующую двух вертикальных сил:

$$F_y = (\rho_{\text{в}} g (h + a) - \rho_{\text{в}} g h) \cdot a d = \rho_{\text{в}} g a^2 d.$$

Окончательно, результирующую силу, действующую на стеклянную пластинку со стороны воды, найдём, применив теорему Пифагора (см. рис.):



$$F_{\text{рез}} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{(\rho_{\text{в}} g a^2)^2 \left(\frac{2h+a}{2}\right)^2 + (\rho_{\text{в}} g a^2)^2 d^2}.$$

$$F_{\text{рез}} = \rho_{\text{в}} g a^2 \sqrt{\left(\frac{2h+a}{2}\right)^2 + d^2}.$$

Подставляя численные данные, получаем численный ответ:

$$\begin{aligned} F_{\text{рез}} &= 1000 \cdot 10 \cdot (5 \cdot 10^{-2})^2 \sqrt{\left(\frac{2 \cdot 10 \cdot 10^{-2} + 5 \cdot 10^{-2}}{2}\right)^2 + (0,6 \cdot 10^{-2})^2} = \\ &= 25 \cdot 10^{-2} \sqrt{\left(\frac{20+5}{2}\right)^2 + 0,36} = 25 \cdot 10^{-2} \sqrt{22,86} \approx 3,13 \text{ Н} \end{aligned}$$

Ответ: $F_{\text{рез}} \approx 3,13 \text{ Н}$.

Критерии:

1. Указаны грани пластинки, на которые действует вода, – 3 балла;
2. Получена общая формула для горизонтальной силы F_x – 8 баллов;
3. Получена общая формула для вертикальной силы F_y – 10 баллов;
4. Найдена результирующая сила с применением теоремы Пифагора – 4 балла.

Максимум баллов за эту задачу: **25** баллов.

Задача 4. Сплав двух металлов.

Ученик взял сплав двух металлов (металла Me1 и металла Me2), причем количество второго металла составляло менее 0,1% от первого. Ученик разделил этот сплав на две части и провёл с ними два эксперимента.

В первом эксперименте ученик поместил первую часть сплава в фарфоровую чашку и оставил на воздухе на сутки. Когда через сутки он пришел посмотреть на сплав, то обнаружил, что сплав исчез, а вместо него в чашке появился белый порошок.

Во втором эксперименте ученик поместил сплав массой 1,56 г в воду, в результате он наблюдал химическую реакцию с выделением почти 2 л водорода, при этом на дно чашки выпал белый осадок.

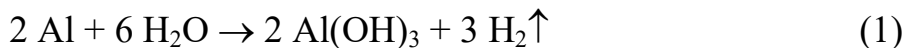
Какие металлы могли входить в сплав? Какие происходят химические реакции? Запишите их уравнения и объясните полученный результат.

Решение.

Полученные эффекты в обоих экспериментах наводят на мысль, что один из металлов – алюминий, который после взаимодействия со вторым металлом потерял свою оксидную плёнку, защищающую его от взаимодействия с водой

или кислородом воздуха. Именно поэтому данный металл во втором эксперименте вступил в реакцию с водой с образованием белого осадка гидроксида алюминия.

Запишем химическую реакцию взаимодействия алюминия с водой:



Подставляя в данное уравнение массу первого металла Me1 (1,56 г), получаем, что количество вещества алюминия:

$$\nu(\text{Al}) = m(\text{Me1})/M(\text{Al}) = 1,56 \text{ г}/(26 \text{ г/моль}) = 0,06 \text{ моль}.$$

Значит, водорода в реакции должно выделиться $\nu(\text{H}_2) = 0,09$ моль. Это соответствует объёму выделившегося водорода:

$$V(\text{H}_2) = \nu(\text{H}_2) \cdot 22,4 \text{ л} = 2,016 \text{ л},$$

что почти равно собранному количеству водорода в реакции – 2 л! Значит, первый металл сплава – это алюминий.

Разрушить защитную оксидную плёнку на алюминии могут несколько металлов. Например, это может быть ртуть, которая образует на поверхности алюминия сплав алюминия и ртути – амальгаму. Ртуть не позволяет образоваться прочной оксидной плёнке на алюминии, и на открытом воздухе алюминий постепенно превращается в белый порошок оксида алюминия (первый эксперимент):



Если же такой алюминий без оксидной плёнки поместить в воду произойдёт бурная химическая реакция алюминия с водой образованием водорода (второй эксперимент, уравнение (1)).

Другим металлом, который произведёт похожее действие на алюминий, может быть галлий. Галлий, аналогично ртути, также создаёт на поверхности алюминия амальгаму. Если поместить сплав алюминия с галлием в воду, то реакция алюминия с водой (второй эксперимент) также происходит с бурным выделением водорода. Однако в случае сплава с галлием повторить первый эксперимент не получится: после оставления на сутки сплава алюминия с галлием вместо белого порошка ученик обнаружил бы снова тот же сплав, однако он стал бы более хрупким: стал бы легко ломаться на маленькие кусочки. Поэтому можно сделать вывод, что вторым металлом будет именно ртуть.

Ответ: Me1 – это алюминий, Me2 – это ртуть

Критерии:

1. Получен ответ без обоснования, что первый металл – это алюминий – 3 балла;

2. Записана химическая реакция взаимодействия алюминия с водой (уравнение (1)) – 4 баллов;
3. Записано уравнение (2) взаимодействия алюминия с кислородом – 3 балла;
4. Показано, что для данной массы первого металла (1,56 г) должно выделиться именно 2 л водорода. Таким образом, дано обоснование, что первый металл – именно алюминий – 4 баллов;
5. Получен ответ без обоснования, что второй металл – это ртуть – 3 балла;
6. Получен ответ без обоснования, что второй металл – это галлий – 3 балла;
7. Дано обоснование того факта, почему второй металл – это именно ртуть (сказано про образование амальгамы, также сказано, что на воздухе сплав алюминия и ртути дает именно белый порошок (первый эксперимент)) – 5 баллов.

Максимум баллов за эту задачу: **25** баллов.