

**Всероссийский конкурс научных работ школьников «Юниор»,
профиль «Естественные науки»,
Решения и критерии оценивания задач олимпиадной части финала конкурса
2024-2025 учебного года, 9 класс
Олимпиада по химии**

1. Изотоп ^{11}C , который применяется как радиоактивная метка, подвергается позитронному распаду (β^+) с образованием изотопа ^{11}B . Изотоп ^{27}Mg подвергается β^- радиоактивному распаду с образованием изотопа ^{27}Al . Взяли два образца этих радиоактивных изотопов. Первый образец массой m состоял из чистого изотопа ^{11}C с периодом полураспада $t_{1/2(I)} = 20$ минут. Второй, имеющий в четыре раза большую массу, состоял из чистого изотопа ^{27}Mg с периодом полураспада $t_{1/2(II)} = 10$ минут. Через какой промежуток времени массы изотопов ^{11}C и ^{27}Mg сравняются? Массой испускаемых β^+ и β^- -частиц можно пренебречь.

Решение:

Радиоактивный распад – это процесс, скорость которого подчиняется кинетическому уравнению 1-порядка.

Запишем уравнение в экспоненциальной форме:

$$m = m_0 \cdot e^{-k\tau}$$

Так как радиоактивный распад подчиняется законам кинетики 1-го порядка, константу скорости реакции можно вычислить, зная период полупревращения.

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}, \text{ откуда } k = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$$

$$\text{Тогда } m = m_0 \cdot e^{-kt} = m_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2}{t_{1/2}} t}$$

$$\text{Для изотопа } ^{11}\text{C}: m = m_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2}{t_{1/2}} t}$$

$$\text{Для изотопа } ^{27}\text{Mg}: m = 4 m_0 \cdot e^{-\frac{2\ln 2}{t_{1/2}} t}$$

Приравняем массы и прологарифмируем выражение

$$m_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2}{t_{1/2}} t} = 4 m_0 \cdot e^{-\frac{2\ln 2}{t_{1/2}} t}$$

Получим:

$$-\frac{\ln 2}{t_{1/2}} t = \ln 4 - \frac{2\ln 2}{t_{1/2}} t$$

$$\frac{\ln 2}{t_{1/2}} t = 2\ln 2$$

$$t = 2t_{1/2} \text{ изотопа } ^{11}\text{C}$$

Ответ: через 40 минут массы изотопов сравняются.

2. В реакционные сосуды одинаковой формы и объема прилили одинаковые объемы раствора сульфата двухвалентного металла и поместили в них цинковую и железную пластинки. Массовая доля металла в сульфате равна 38,04%. Через несколько часов пластинки вынули, высушили и взвесили. Масса первой пластинки уменьшилась на 3 г, а масса второй – увеличилась. Скорость растворения цинковой пластинки при условиях эксперимента оказалась в два раза больше, чем скорость растворения железной пластинки. Сульфат какого двухвалентного металла находился в исходном растворе, как окрашен раствор этой соли? На сколько увеличилась масса второй пластинки? На сколько изменилась масса каждого раствора?

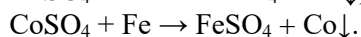
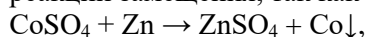
Решение:

Определим раствор сульфата какого металла взят для эксперимента, рассчитав его молярную массу, $M(X)$:

$$\omega(X) = 38,04\%; M(X) = 38,04 \cdot 96 / 100 - 38,04 = 58,9 \text{ г/моль}; X - \text{это } \text{Co}.$$

Для эксперимента взят раствор сульфата кобальта CoSO_4 , раствор окрашен в розовый цвет.

Реакции, которые будут происходить при погружении металлических пластинок в раствор соли кобальта. Это реакции замещения, так как цинк и железо более активные металлы и в ряду напряжений стоят левее кобальта:



Определим изменение массы железной пластинки:

Обозначим за x количество растворившегося цинка, а $0,5 \cdot x$ – количество растворившегося железа. Это следует из того, что скорость растворения цинка в два раза больше, чем скорость растворения железа. Изменение массы первой пластинки связано с растворением Zn и осаждением Co, количества растворившегося цинка и осажденного кобальта одинаковы в соответствии с уравнением реакции: $\Delta m_{\text{цинковой пластинки}} = 58,9x - 65,4x = -3$; $6,5x = 3$; $x = 0,46$ моль

Тогда количество растворившегося железа $n(\text{Fe}) = 0,5x = 0,23$ моль.

Изменение массы железной пластинки:

$$\Delta m_{\text{железной пластинки}} = 58,9 \cdot 0,5x - 55,9 \cdot 0,5x = 0,69 \text{ г.}$$

Определим изменение масс растворов:

Масса первого раствора увеличилась на 3 г, масса второго раствора уменьшилась на 0,69 г.

Ответ: CoSO_4 , $\Delta m_{\text{раствора 2}} = 0,69$ г, (уменьшилась), $\Delta m_{\text{раствора 1}} = 3,0$ г, (увеличилась)

3. Через электролизер с платиновым катодом и графитовым анодом, содержащий 100 г. раствора нитрата меди (II) с массовой долей соли 37,8% пропущен постоянный ток. Количество электричества, пропущенное через электролизер, оказалось равным количеству электричества, которое способно вызвать полное разложение 15 г гидроксида натрия. После окончания эксперимента электролизер был оставлен на ночь. На следующий день платиновые электроды вынуты из электролита, промыты, высушены и взвешены. Изменение массы одного из них составило 5,95 г. Объясните результаты эксперимента, приведите соответствующие расчеты и реакции.

Решение:

При электролизе раствора нитрата меди на электродах будут протекать следующие реакции:

На платиновом катоде: $\text{Cu}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Cu} \downarrow$

На графитовом аноде: $2\text{H}_2\text{O} + 4e \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+$

Количество электричества при электролизе гидроксида натрия и раствора нитрата меди (II) одинаково, можно записать следующие выражения, используя закон Фарадея:

$$m(\text{B}) = \frac{M(\text{B}) \cdot I \cdot t}{n \cdot F}, \quad I \cdot t = \frac{m(\text{NaOH}) \cdot n_1 \cdot F}{M(\text{NaOH})} = \frac{m(\text{Cu}) \cdot n_2 \cdot F}{M(\text{Cu})}$$

где n – число электронов, участвующих в электродных реакциях, для NaOH $n_1=1$, для Cu^{2+} $n_2=2$.

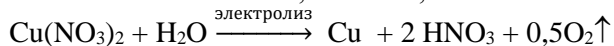
Найдем массу и количество меди, которая выделилась на платиновом катоде:

$$m(\text{Cu}) = \frac{m(\text{NaOH}) \cdot M(\text{Cu}) \cdot n_1}{M(\text{NaOH}) \cdot n_2} = \frac{15 \cdot 63,6 \cdot 1}{40 \cdot 2} = 11,925 \text{ г}$$

Количество меди составит:

$$n(\text{Cu}) = m(\text{Cu}) / M(\text{Cu}) = 0,188 \text{ моль}$$

При электролизе раствора нитрата меди в электролизере протекает реакция и в электролите накапливается азотная кислота в количестве 0,376 моль, в соответствии с уравнением электролиза:



За время стояния электролизера прошла реакция взаимодействия выделившейся меди с 0,376 моль азотной кислоты:



Количество меди, которое при этом растворилось равно 0,094 моль или 5,978 г, следовательно, масса меди на катоде уменьшилась и составила

$$11,925 - 5,978 = 5,947 \approx 5,95 \text{ г.}$$

Ответ: Изменение массы катода составляет 5,95 г.

Председатель методической комиссии,
Январь 2025 г.