

Тема №7

Электрический ток в жидкостях и газах

Задача 1 Задача 3 Задача 2

Задача 4

Задача 5

Задача 6

Задача 7

Задача 8

Задача 9

Теоретическое введение

Электрический ток в жидкостях и газах

Для электрического тока имеют место два закона Фарадея:

первый закон Фарадея - *масса вещества, выделившаяся при электролизе прямо пропорциональна прошедшему заряду:*

$$m = kIt = kq,$$

где q - количество электричества, прошедшего через электролит,

k - электрохимический эквивалент.

Второй закон Фарадея - *электрохимический эквивалент пропорционален химическому эквиваленту:*

$$k = \frac{1}{F} \frac{A}{Z}$$

где A - молярная масса,

Z - валентность,

$F = 96,5 \cdot 10^3$ Кл/моль - постоянная Фарадея.

Удельная проводимость электролита определяется формулой

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \alpha C Z F (u_+ + u_-)$$

α - степень диссоциации,

C [моль/м³] - молярная концентрация,

Z - валентность,

F - постоянная Фарадея,

u_+ и u_- [м / (В·с)] - подвижность ионов.



При этом $a = n_q / n_n$ - отношение числа диссоциированных молекул в единице объема к числу всех молекул растворенного вещества в этом объеме. Величина $n = CZ$ [моль/м³] - называется эквивалентной концентрацией, а величина $A = \sigma / \eta$ [м²/(Ом·моль)] - эквивалентной проводимостью.

При небольших плотностях тока, текущего в газе, имеет место закон Ома:

$$j = qn(u_+ - u_-)E = \sigma E$$

где E - напряженность поля,

σ - удельная проводимость газа,

q - заряд иона,

n [м⁻³] - число ионов каждого знака (число пар ионов), находящихся в единице объема газа. При этом

$$n = \sqrt{\frac{N}{\gamma}},$$

где N [м⁻³с⁻¹] - число пар ионов, создаваемых ионизирующим агентом в единице объема в единицу времени,

γ [м³/с] - коэффициент рекомбинации.

Плотность тока насыщения в газе определяется формулой

$$J_H = Nqd$$

где d - расстояние между электродами.

Чтобы вырваться из металла наружу, электрон должен обладать кинетической энергией

$$\frac{mv^2}{2} \geq A$$

где A - работа выхода электрона из данного металла.



Плотность тока насыщения при термоэлектронной эмиссии определяется формулой

$$J_H = BT^2 e^{-\frac{A}{kT}}$$

где T - термодинамическая температура катода,

A - работа выхода,

$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К - постоянная Больцмана,

B [$A/(m^2 \cdot K^2)$] - эмиссионная постоянная, разная для различных металлов.



Задача 1

При электролизе медного купороса за время $t=1$ ч выделилась масса $m=0,5$ г меди. Площадь каждого электрода $S=75$ см². Найти плотность тока j .



Задача 1

Дано:

$$t=3600 \text{ с}$$

$$m=5 \cdot 10^{-4} \text{ кг}$$

$$S=75 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$Z=2$$

$$A=63,5 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

$$F=96,5 \cdot 10^3 \text{ Кл/моль}$$

$$j - ?$$

Решение:

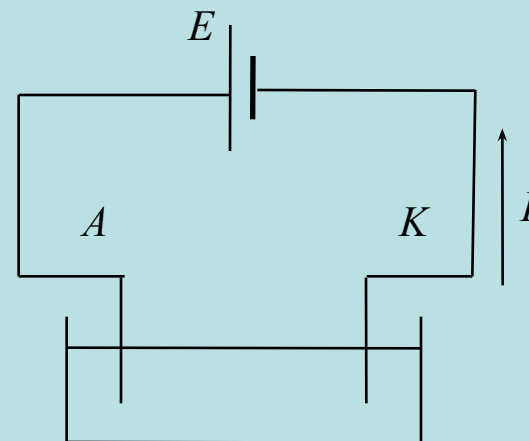
$$j = \frac{I}{S} \quad (1)$$

$$m = kIt \Rightarrow I = \frac{m}{kt} \quad (2)$$

$$k = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{Z} \quad (3)$$

Подставляем (2) в(3) и полученное подставляем в (1)

$$j = \frac{mFZ}{tSA}$$



Ответ: плотность тока в электролите $j=56,3 \text{ А/м}^2$.



Задача 2

Две электролитические ванны с растворами $AgNO_3$ и $CuSO_4$ соединены последовательно. Какая масса m_2 меди выделится за время, в течение которого выделилась масса серебра, равная $m_1=180$ мг?



Задача 2

Дано:

$$m_{Ag} = 18 \cdot 10^{-7} \text{ кг}$$

$$k_{Ag} = 1,11 \cdot 10^{-6} \text{ кг/Кл}$$

$$k_{Cu} = 3,3 \cdot 10^{-7} \text{ кг/Кл}$$

$$t_1 = t_2$$

$$m_{Cu} = ?$$

Решение:

По первому закону Фарадея для $AgNO_3$

$$m_{Ag} = Itk_{Ag} \Rightarrow It = \frac{m_{Ag}}{k_{Ag}} \quad (1)$$

По первому закону Фарадея для $CuSO_4$

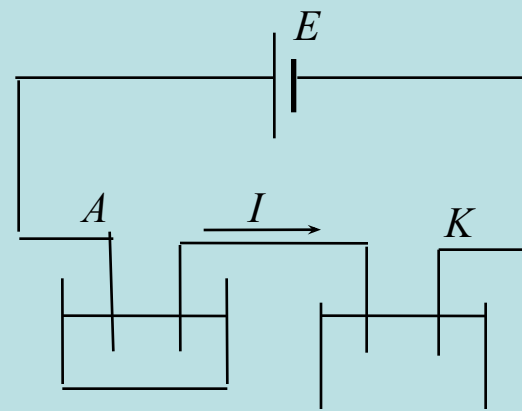
$$m_{Cu} = k_{Cu}It \quad (2)$$

Подставим (1) в (2)

$$m_{Cu} = \frac{k_{Cu} \cdot m_{Ag}}{k_{Ag}}$$

Ответ:

за одинаковое время в последовательно соединенных ваннах с растворами $AgNO_3$ и $CuSO_4$ выделилось $m^2 = 53 \cdot 10^{-6}$ кг меди во втором растворе.



Задача 3

Какую электрическую энергию W надо затратить, чтобы при электролизе раствора $AgNO_3$ выделилось $m=500$ мг серебра? Разность потенциалов на электродах $U=4$ В.



Задача 3

Дано:

$$m_{Ag} = 500 \cdot 10^{-6} \text{ кг}$$

$$U = 4 \text{ В}$$

$$k_{Ag} = 11,18 \cdot 10^{-6} \text{ кг/Кл}$$

$W = ?$

Решение:

Энергия, необходимая для выделения массы m вещества при электролизе

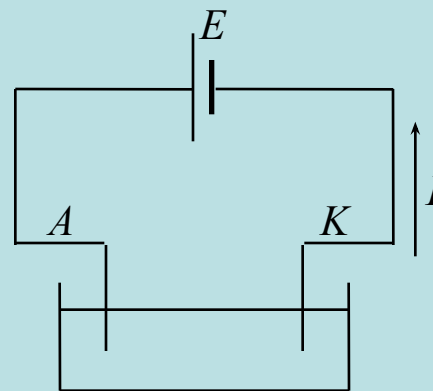
$$W = IUt \quad (1)$$

По первому закону Фарадея:

$$m = Itk \Rightarrow It = \frac{m}{k} \quad (2)$$

Подставим (2) в (1), получаем

$$W = \frac{Um}{k}$$



Ответ:

для выполнения поставленных в задаче целей надо затратить электрическую энергию, равную $W = 1,79 \cdot 10^3$ Дж.



Задача 4

Через раствор азотной кислоты пропускается ток $I=2\text{А}$. Какое количество электричества q переносится за $t=1$ мин ионами каждого знака?



Задача 4

Дано:

$$I=2 \text{ А}$$

$$t=60 \text{ с}$$

$$u_+ = 32,6 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$$

$$u_- = 6,4 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$$

$q_+, q_- - ?$

Решение:

Суммарный заряд, прошедший через электролит

$$q = q_+ + q_-$$

$$q = It \quad (1). \quad \text{Отсюда} \quad q_+ + q_- = It$$

При небольших плотностях тока

$$j_+ = q_+ n_+ u_+ E \quad \text{и} \quad j_- = q_- n_- u_- E$$

$$\frac{j_+}{j_-} = \frac{i_+}{i_-} \quad (2)$$

$$q = It = jSt \quad q_+ = j_+ St \quad q_- = j_- St$$

$$\frac{j_+}{j_-} = \frac{q_+}{q_-} \quad (3)$$

$$\frac{q_+}{q_-} = \frac{i_+}{i_-} \quad (4)$$

На основе уравнений (1) и (4) составим систему уравнений

$$\begin{cases} It = q_+ + q_- \\ \frac{q_+}{q_-} = \frac{i_+}{i_-} \end{cases} \quad \begin{cases} It = q_+ + q_- \\ q_+ = \frac{i_+}{i_-} q_- \end{cases} \quad \begin{cases} It = q_- + \frac{i_+}{i_-} q_- \\ q_- = \frac{It i_-}{u_+ + i_-} \end{cases} \quad \begin{matrix} \text{Отсюда} \\ q_+ = \frac{It i_+}{u_+ + i_-} \end{matrix}$$

Ответ:

количество электричества, переносимого за время t ионами отрицательного и положительного знака соответственно равно $q_- = 20 \text{ Кл}$ и $q_+ = 100 \text{ Кл}$.



Задача 5

Найти сопротивление R раствора $AgNO_3$, заполняющего трубку длиной $l = 84$ см и площадью поперечного сечения $S = 5$ мм². Эквивалентная концентрация раствора $\eta = 0,1$ моль/л, степень диссоциации $\alpha = 81\%$.



Задача 5

Дано:

$$Z=1$$

$$F=96,5 \cdot 10^3$$

Кл/моль

$$l=84 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$u_+ = 5,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$$

$$u_- = 6,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$$

$$S=5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

$$\eta=100 \text{ моль/м}^3$$

$$\alpha = 81\%$$

$R=?$

Решение:

Сопротивление раствора:

$$R = \frac{l}{\sigma S} \quad (1)$$

$$\sigma = \alpha CZF(u_+ + u_-) \quad (2)$$

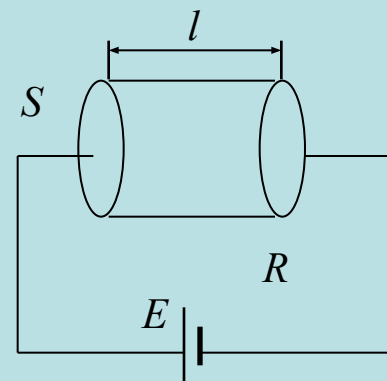
Величина

$\eta = CZ$ - эквивалентная концентрация

Отсюда $\sigma = \alpha \eta F(u_+ + u_-)$

Подставим выражение (2) в (1), получаем

$$R = \frac{l}{\alpha \eta F S (u_+ + u_-)}$$



Ответ: сопротивление раствора $AgNO_3$, заполняющего трубку, равно $R=180$ кОм.



Задача 6

Удельная проводимость децинормального раствора соляной кислоты $\sigma = 3,5 \text{ См/м}$. Найти степень диссоциации α .



Задача 6

Дано:

$$\sigma = 3,5 \text{ См/м}$$

$$\eta = 0,1 \text{ моль/л} =$$

$$100 \text{ моль/м}^3$$

$$Z = 1$$

$$u_+ = 32,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$$

$$u_- = 6,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$$

$$F = 96,5 \cdot 10^3$$

$$\text{Кл/моль}$$

$$t = 1$$

$$\alpha = ?$$

Решение:

Удельная проводимость электролита определяется формулой

$$\sigma = \alpha CZF(u_+ + u_-) \Rightarrow$$

$$\alpha = \frac{\sigma}{CZF(u_+ + u_-)} = \frac{\sigma}{\eta F(u_+ + u_-)}$$

где $\eta = CZ$ - эквивалентная концентрация

Ответ:

степень диссоциации данного раствора равна $\alpha = 9,2\%$.



Задача 7

К электродам разрядной трубки приложена разность потенциалов $U=5$ В, расстояние между ними $d=10$ см. Газ, находящийся в трубке, однократно ионизирован. Число ионов каждого знака в единице объема газа $n=10^8$ м⁻³ подвижность ионов $u_+=3 \cdot 10^{-2}$ м²/(В·с) и $u_-=3 \cdot 10^{-2}$ м²/(В·с). Найти плотность тока j в трубке. Какая часть полного тока переносится положительными ионами?



Задача 7

Дано:

$$U=5 \text{ В}$$

$$d=10^{-1} \text{ м}$$

$$Z=1$$

$$n=108 \text{ м}^{-3}$$

$$u_+ = 3 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$$

с

$$u_- = 3 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$$

$$j_-? \quad \frac{j_+}{j} - ?$$

Решение:

При небольших плотностях тока, текущего в газе, имеет место закон Ома

$$j = qn(u_+ + u_-)E \quad (1)$$

$$E = \frac{U}{d} \quad (2)$$

Подставляя (2) в (1), получаем:

$$j = \frac{en(u_+ + u_-)U}{d} \quad \text{Зная, что}$$

$$j_+ = enu_+E, \quad (3)$$

$$j_- = enu_-E, \quad (4)$$

найдем часть полного тока, переносимого положительными зарядами, т.е. отношение

$$\frac{j_+}{j}$$

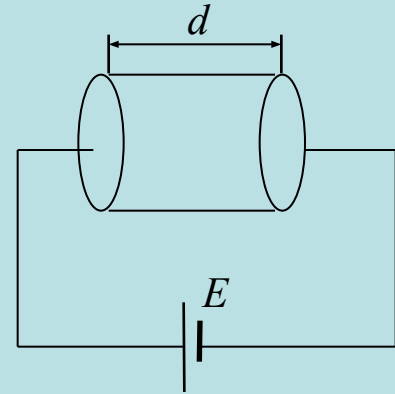
Подставим в это выражение формулы (3) и (4). С учетом формулы (2) получаем

$$\frac{j_+}{j} = \frac{enu_+E}{enu_+E + enu_-E} = \frac{u_+}{u_+ + u_-}$$

Ответ:

плотность тока в трубке равна $j = 2,4 \cdot 10^{-7} \text{ А/м}^2$, часть полного тока

переносимого положительными ионами равна $\frac{j_+}{j} = 0,01\%$



Задача 8

Площадь каждого электрода ионизационной камеры $S=0,01 \text{ м}^2$, расстояние между ними $d=6,2 \text{ см}$. Найти ток насыщения I_H в такой камере, если в единице объема в единицу времени образуется число однозарядных ионов каждого знака $N=10^{15} \text{ м}^{-3} \text{ с}^{-2}$?



Задача 8

Дано:

$$S=0,01 \text{ м}^2$$

$$d=0,062 \text{ м}$$

$$N=10^{15} \text{ м}^{-3} \text{ с}^{-2}$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$Z=1$$

$$I_H^-?$$

Решение:

Плотность тока насыщения в газе

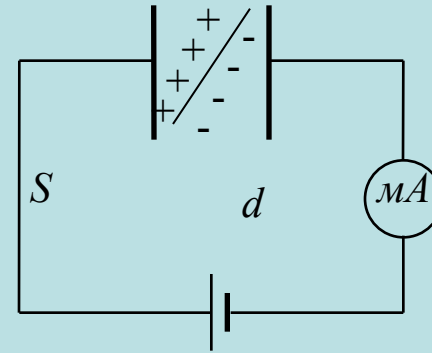
$$j_H = Nqd \Rightarrow j_H = eNd$$

Также плотность электрического тока:

$$j = \frac{I}{S}$$

отсюда ток насыщения равен:

$$\frac{I_H}{S} = eNd \Rightarrow I_H = eNdS$$



Ответ: ток насыщения в этой камере равен $I_H = 10^{-7} \text{ А}$.



Задача 9

Найти сопротивление R трубки длиной $l=84$ см и площадью поперечного сечения $S=5$ мм² если она заполнена воздухом, ионизированным так, что в единице объема при равновесии находится $n=10^{13}$ м⁻³ однозарядных ионов каждого знака. Подвижность ионов $u_+ = 1,3 \cdot 10^{-4}$ м²/(В·с) и $u_- = 1,8 \cdot 10^{-4}$ м²/(В·с)



Задача 9

Дано:

$$l=0,84\text{м}$$

$$S=5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

$$Z=1$$

$$u_+ = 1,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 / (\text{В} \cdot \text{с})$$

$$u_- = 1,8 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2 / (\text{В} \cdot \text{с})$$

$$n = 10^{13} \text{ м}^{-3}$$

$R=?$

Решение:

Сопротивление трубки с газом определяется формулой

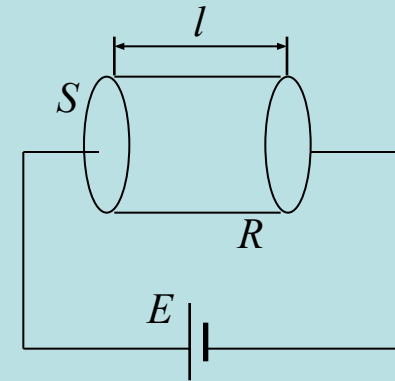
$$R = \frac{l}{\sigma S} \quad \text{где } \sigma - \text{ удельная проводимость}$$

газа, которая может быть найдена из формулы:

$$\sigma = qn(u_+ + u_-) = en(u_+ + u_-)$$

Подставим (2) в (1), получаем:

$$R = \frac{l}{en(u_+ + u_-)S}$$



Ответ: сопротивление трубки с воздухом будет равно $R=3,4 \cdot 10^{14}$ Ом.

