

10.100. Найти электрохимический эквивалент K водорода.

Решение:

Имеем $K = \frac{1}{F} \frac{A}{Z}$, где $F = 96,48 \cdot 10^3$ Кл/моль — постоянная Фарадея, $A = 0,001$ — молярная масса водорода, $Z = 1$ — валентность. Подставляя числовые данные, получим $K = 1,04 \cdot 10^{-8}$ кг/Кл.

10.101. Амперметр, включенный последовательно с электролитической ванной с раствором AgNO_3 , показывает ток $I = 0,90$ А. Верен ли амперметр, если за время $\tau = 5$ мин прохождения тока выделилась масса $m = 316$ мг серебра?

Решение:

По первому закону Фарадея $m = KI\tau$. Тогда амперметр должен показывать ток $I = \frac{m}{K\tau}$. Найдем электрохимичес-

кий эквивалент серебра. Имеем $K = \frac{1}{F} \frac{A}{Z}$, где $A = 0,108$, $Z = 1$. Отсюда $K = 1,12 \cdot 10^{-6}$ кг/Кл. Подставляя числовые данные, получим $I = 0,94$ А. Следовательно, амперметр показывает ток на 0,04 А меньше, чем нужно.

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

Решение:

При последовательном соединении через обе ванны проходит одинаковый ток I . За время τ выделилась масса серебра $m_1 = K_1 I \tau$ — (1) и масса меди $m_2 = K_2 I \tau$ — (2).

Выразив из (1) и (2) время τ , получим $\tau = \frac{m_1}{K_1 I} = \frac{m_2}{K_2 I}$, от-

куда $m_2 = \frac{m_1 K_2}{K_1}$. Электрохимический эквивалент серебра

$K_1 = 1,12 \cdot 10^{-6}$ кг/Кл. Подставляя числовые данные, получим $m_2 = 53,5 \cdot 10^{-6}$ кг.

10.103. При получении алюминия электролизом раствора Al_2O_3 в расплавленном криолите проходил ток $I = 20$ кА при разности потенциалов на электродах $U = 5$ В. За какое время τ выделится масса $m = 1$ т алюминия? Какая электрическая энергия W при этом будет затрачена?

Решение:

Имеем $m = KI\tau$, откуда $\tau = \frac{m}{KI}$, где $K = \frac{1}{96,48 \cdot 10^3} \times$

$\times \frac{27 \cdot 10^{-3}}{3} = 9,3 \cdot 10^{-8}$ кг/Кл. Подставляя числовые данные,

получим $\tau = 537634$ с = 149,3 ч. Затраченная энергия W будет равна работе электрических сил $A = P\tau$, т. е. $W = P\tau = IU\tau$. Подставляя числовые данные, получим $W = 53,8$ ГДж.

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

Решение:

Имеем $W = UI\tau$ (см. задачу 10.103). По первому закону

Фарадея $m = KI\tau$, откуда $I\tau = \frac{m}{K}$. Тогда $W = \frac{Um}{K}$, где

$K = 1,12 \cdot 10^{-6}$ кг/Кл (см. задачу 10.101). Подставляя числовые данные, получим $W = 1,8$ кДж.

10.105. Реакция образования воды из водорода и кислорода происходит с выделением тепла: $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O} + 5,57 \cdot 10^5$ Дж. Найти наименьшую разность потенциалов U , при которой будет происходить разложение воды электролизом.

Решение:

Для выделения массы m вещества при электролизе необходима энергия $W = IUt = \frac{mUZF}{A}$, откуда $U = \frac{WA}{mZF}$, где F — постоянная Фарадея, A — молярная масса, Z — валентность. Чтобы разложить $\nu = 2$ моль воды, т. е. чтобы выделить $m = 4$ г водорода, потребуется энергия $W = 5,57 \cdot 10^5$ Дж. Подставляя числовые данные, получим $U = 1,5$ В.

10.106. Найти эквивалентную проводимость Λ_∞ для очень слабого раствора азотной кислоты.

Решение:

В слабых растворах все молекулы диссоциированы, т. е. степень диссоциации $\alpha \approx 1$. Тогда эквивалентная проводимость $\Lambda_\infty = F(u_+ + u_-)$. Имеем $u_+ = 3,26 \cdot 10^{-7}$ м²/(В·с) и $u_- = 0,64 \cdot 10^{-7}$ м²/(В·с). Подставляя числовые данные, получим $\Lambda_\infty = 37,6 \cdot 10^{-3}$ м²/(Ом·моль).

10.107. Через раствор азотной кислоты пропускается ток $I = 2$ А. Какое количество электричества q переносится за время $\tau = 1$ мин ионами каждого знака?

Решение:

Запишем уравнение диссоциации для азотной кислоты $\text{HNO}_3 \rightarrow \text{H}^+ + \text{NO}_3^-$. По определению силы тока $I = \frac{q}{\tau}$, откуда $q = I\tau$ — (1) — полное количество электричества, переносимое всеми ионами за время τ . Плотность тока

положительных и отрицательных ионов соответственно равна $j^+ = q^+ n^+ u^+$ — (2) и $j^- = q^- n^- u^-$ — (3), где q — количество электричества, переносимое ионами каждого знака, n — концентрация ионов, u — подвижность ионов. Из уравнения диссоциации видно, что концентрации положительных и отрицательных ионов равны, следовательно, и плотности тока по модулю равны, тогда из уравнений (2) и (3) имеем $q^- u^- = q^+ u^+$ или $\frac{q^-}{q^+} = \frac{u^+}{u^-}$ — (4).

Кроме того, с учетом (1), $q^+ + q^- = I\tau$ — (5). Решая совместно уравнения (4) и (5), находим $q^+ = \frac{I\tau u^+}{u^- + u^+} = 100,3 \text{ Кл}$

$$\text{и } q^- = \frac{I\tau u^-}{u^- + u^+} = 19,7 \text{ Кл.}$$

10.108. Эквивалентная проводимость раствора KCl при некоторой концентрации $\Lambda = 12,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/(\text{Ом}\cdot\text{моль})$, удельная проводимость при той же концентрации $\sigma = 0,122 \text{ См/м}$, эквивалентная проводимость при бесконечном разведении $\Lambda_\infty = 13 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/(\text{Ом}\cdot\text{моль})$. Найти: а) степень диссоциации α раствора KCl при данной концентрации; б) эквивалентную концентрацию η раствора; в) сумму подвижностей $u_+ + u_-$ ионов K^+ и Cl^- .

Решение:

В слабых растворах степень диссоциации $\alpha \approx 1$, т. е. все молекулы диссоциированы. Следовательно, эквивалентная проводимость $\Lambda_\infty = F(u^+ + u^-)$, откуда сумма подвижностей $u^+ + u^- = \frac{\Lambda_\infty}{F} = 13,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$. По определению

эквивалентной проводимости $\Lambda = \frac{\sigma}{\eta}$, откуда экви-

валентная концентрация $\eta = \frac{\sigma}{\Lambda} = 0,1$ моль/л. Удельная проводимость электролита определяется формулой $\sigma = \alpha \eta F(u^+ + u^-) = \alpha \eta \Lambda_{\infty}$, откуда степень диссоциации электролита $\alpha = \frac{\sigma}{\eta \Lambda_{\infty}} \cdot 100\% = 0,938 \cdot 100\% = 93,8\%$.

10.109. 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 $\alpha = 81\%$.

Решение:

Сопротивление раствора в трубке выражается формулой

$R = \rho \frac{l}{S}$ — (1), где ρ — удельное сопротивление раствора.

Удельная проводимость электролита определяется формулой

$\sigma = \frac{1}{\rho} = \alpha \eta F(u^+ + u^-)$, где u^+ и u^- — соответственно подвижности ионов Ag^+ и NO_3^- , тогда удельное сопротивление

$\rho = \frac{1}{\alpha \eta F(u^+ + u^-)}$ — (2). Подставляя (2) в

(1), окончательно получаем $R = \frac{l}{S \alpha \eta F(u^+ + u^-)} = 179,1$ кОм.

10.110. Найти сопротивление R раствора, заполняющего трубку длиной $l = 2$ см и площадью поперечного сечения $S = 7$ см². Эквивалентная концентрация раствора $\eta = 0,05$ моль/л, эквивалентная проводимость $\Lambda = 1,1 \cdot 10^{-6}$ м²/(Ом·моль).

Решение:

Сопротивление раствора в трубке выражается формулой

$R = \rho \frac{l}{S}$ — (1), где ρ — удельное сопротивление

раствора. По определению эквивалентной проводимости

$\Lambda = \frac{\sigma}{\eta}$, откуда удельная проводимость электролита

$\sigma = \Lambda \eta$ — (2). С другой стороны, $\sigma = \frac{1}{\rho}$, тогда, с учетом

(2), удельное сопротивление раствора $\rho = \frac{1}{\Lambda \eta}$ — (3).

Подставляя (3) в (1), окончательно получаем

$$R = \frac{l}{S \Lambda \eta} = 519,5 \text{ кОм.}$$

10.111. Трубка длиной $l = 3$ см и площадью поперечного сечения $S = 10 \text{ см}^2$ заполнена раствором CuSO_4 . Эквивалентная концентрация раствора $\eta = 0,1$ моль/л, сопротивление $R = 38$ Ом. Найти эквивалентную проводимость Λ раствора.

Решение:

Сопротивление трубки $R = \rho \frac{l}{S}$. Отсюда удельное сопротивление

электролита $\rho = \frac{RS}{l}$. Удельная электропро-

водность $\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{l}{RS}$. Эквивалентная проводимость

$$\Lambda = \frac{\sigma}{\eta} = \frac{l}{RS\eta}; \quad \Lambda = 7,89 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/(\text{Ом} \cdot \text{моль}).$$

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

Решение:

Удельная электропроводность $\sigma = \alpha CZF(u_+ + u_-)$, где

$C = 0,1 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{моль}$ — молярная концентрация, $Z = 1$ — валентность, $u_+ = 32,6 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ и $u_- = 6,8 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ —

подвижности ионов. Отсюда степень диссоциации

$$\alpha = \frac{\sigma}{CZF(u_+ + u_-)} = 0.92 = 92\%.$$

10.113. Найти число ионов n каждого знака, находящихся в единице объема раствора предыдущей задачи.

Решение:

При небольших плотностях тока, текущего в газе, имеет место закон Ома $j = qn(u_+ + u_-)E = \sigma E$, откуда

$$n = \frac{\sigma}{q(u_+ + u_-)} = 5,6 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}.$$

10.114. При освещении сосуда с газом рентгеновскими лучами в единице объема в единицу времени ионизуется число молекул $N = 10^{16} \text{ м}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$. В результате рекомбинации в сосуде установилось равновесие, причем в единице объема газа находится число ионов каждого знака $n = 10^{14} \text{ м}^{-3}$. Найти коэффициент рекомбинации γ .

Решение:

Количество рекомбинирующих за единицу времени в единице объема пар ионов пропорционально квадрату числа имеющихся в единице объема пар ионов $N = \gamma n^2$. Отсюда

$$\text{коэффициент рекомбинации } \gamma = \frac{N}{n^2} = 10^{-12} \text{ м}^3/\text{с}.$$

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

Решение:

При небольших плотностях тока, текущего в газе, имеет место закон Ома $j = qn(u^+ + u^-)E$ — (1), где E — напряженность поля между электродами, которая равна

$$E = \frac{U}{d} \text{ — (2). Т. к. по условию газ однократно ионизирован, то заряд ионов } q = e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл. Подставляя (2) в (1),}$$

окончательно получаем $j = \frac{en(u^+ + u^-)U}{d} = 0,24 \text{ мкА/м}^2$.

Плотность тока положительных ионов $j^+ = \frac{enu^+U}{d}$, тогда

$$\frac{j^+}{j} = \frac{u^+}{u^+ + u^-} = 10^{-4} \cdot 100\% = 0,01\%.$$

10.116. Площадь каждого электрода ионизационной камеры $S = 0,01 \text{ м}^2$, расстояние между ними $d = 6,2 \text{ см}$. Найти ток насыщения I_n в такой камере, если в единице объема в единицу времени образуется число однозарядных ионов каждого знака $N = 10^{15} \text{ м}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$.

Решение:

Плотность тока насыщения в газе определяется формулой $j_n = Nqd$ — (1), где N — число пар ионов, созданных ионизирующим агентом в единице объема в единицу времени, d — расстояние между электродами. Сила и плотность тока связаны соотношением $j = \frac{I}{S}$, тогда

$$j_n = \frac{I_n}{S} \text{ — (2). Приравнивая правые части уравнений (1) и}$$

(2) и считая $q = e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$, получим $\frac{I_n}{S} = Ned$, откуда

ток насыщения $I_n = NedS = 0,1 \text{ мкА}$.

10.117. Найти наибольшее возможное число ионов n каждого знака, находящихся в единице объема камеры предыдущей задачи, если коэффициент рекомбинации $\gamma = 10^{-12} \text{ м}^3/\text{с}$.

Решение:

Наибольшее возможное число ионов n каждого знака в единице объема камеры получится, если убывание ионов происходит только за счет рекомбинации. Тогда имеем

$$N = \gamma n^2, \text{ откуда } n = \sqrt{\frac{N}{\gamma}} = 3,2 \cdot 10^{13} \text{ м}^{-3}.$$

10.118. Найти сопротивление R трубки длиной $l = 84 \text{ см}$ и площадью поперечного сечения $S = 5 \text{ мм}^2$, если она заполнена воздухом, ионизированным так, что в единице объема при равновесии находится $n = 10^{13} \text{ м}^{-3}$ однозарядных ионов каждого знака. Подвижности ионов $u_+ = 1,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ и $u_- = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$.

Решение:

Сопротивление трубки $R = \rho \frac{l}{S}$. Отсюда удельное сопротивление

$\rho = \frac{RS}{l}$. Удельная электропроводность

$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{l}{RS}$. С другой стороны, $\sigma = qn(u_+ + u_-)$. Т. к.

левые части равны, то можно приравнять и правые:

$\frac{l}{RS} = qn(u_+ + u_-)$, откуда $R = \frac{l}{qSn(u_+ + u_-)}$. Т. к. ионы

однозарядные, то $q = e$ и окончательно $R = \frac{l}{eSn(u_+ + u_-)}$:

$$R = 3,4 \cdot 10^{14} \text{ Ом.}$$

10.119. Какой ток I пройдет между электродами ионизационной камеры задачи 10.116, если к электродам приложена разность потенциалов $U = 20$ В? Подвижности ионов $u_+ = u_- = 10^{-4}$ м²/(В·с), коэффициент рекомбинации $\gamma = 10^{-12}$ м³/с. Какую долю тока насыщения составляет найденный ток?

Решение:

При небольших плотностях тока, текущего в газе, имеет место закон Ома $j = qn(u_+ + u_-)E$ — (1), где $E = \frac{U}{d}$ — (2) —

напряженность однородного поля, U — разность потенциалов на электродах, d — расстояние между электродами, $n = \sqrt{\frac{N}{\gamma}}$ — (3) — число пар ионов, γ — коэф-

фициент рекомбинации, $q = e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл — заряд иона, u_+ и u_- — подвижности ионов. Подставляя (2) и (3) в (1),

получаем $j = e \sqrt{\frac{N}{\gamma}} (u_+ + u_-) \frac{U}{d}$ — (4). С другой стороны,

плотность тока $j = \frac{I}{S}$ — (5), где I — сила тока, S — площадь электронов. Приравнивая правые части уравнений (4)

и (5), получаем $\frac{I}{S} = e \sqrt{\frac{N}{\gamma}} (u_+ + u_-) \frac{US}{d} = 3,3$ нА. Ток насыщения в камере (см. задачу 10.116) $I_n = NedS = 0,1$ мкА,

тогда $\frac{I}{I_n} = 3,3\%$.

10.120. Какой наименьшей скоростью v должен обладать электрон для того, чтобы ионизировать атом водорода? Потенциал ионизации атома водорода $U = 13,5$ В.

Решение:

Потенциалом ионизации атома называется разность потенциалов, которую должен пройти электрон, чтобы при соударении с атомом его ионизировать. Поэтому скорость

электрона найдем из равенства $\frac{mv^2}{2} = eU$, откуда

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m}} = 2,2 \cdot 10^6 \text{ м/с.}$$

10.121. При какой температуре T атомы ртути имеют кинетическую энергию поступательного движения, достаточную для ионизации? Потенциал ионизации атома ртути $U = 10,4 \text{ В}$.

Решение:

Средняя кинетическая энергия поступательного движения

атомов ртути $W_k = \frac{3}{2}kT$, где $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$ — постоянная Больцмана. Потенциальная энергия атомов в

металле $W_n = eU$. По закону сохранения энергии $W_k = W_n$

или $\frac{3}{2}kT = eU$, откуда температура $T = \frac{2eU}{3k} = 8036 \text{ К}$.

10.122. Потенциал ионизации атома гелия $U = 24,5 \text{ В}$. Найти работу ионизации A .

Решение:

Потенциальная энергия атомов гелия $W = eU$. По закону сохранения энергии работа ионизации идет на разрыв связи молекул, т.е. равна потенциальной энергии

$$A = W = eU = 39,2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

10.123. Какой наименьшей скоростью v должны обладать свободные электроны в цезии и платине для того, чтобы они смогли покинуть металл?

Решение:

По закону сохранения энергии кинетическая энергия свободных электронов $W_k = \frac{mv^2}{2}$ идет на работу выхода

электронов из металла, следовательно, $\frac{mv^2}{2} = A$, откуда

наименьшая скорость $v_{min} = \sqrt{\frac{2A}{m}}$. а) Для цезия $A = 1,9$ эВ,

тогда $v_{min} = 8,3 \cdot 10^5$ м/с. б) Для платины $A = 5,3$ эВ, тогда $v_{min} = 1,4 \cdot 10^6$ м/с.

10.124. Во сколько раз изменится удельная термоэлектронная эмиссия вольфрама, находящегося при температуре $T_1 = 2400$ К, если повысить температуру вольфрама на $\Delta T = 100$ К?

Решение:

Удельная термоэлектронная эмиссия вольфрама при тем-

пературах T_1 и T_2 : $j_1 = BT_1^2 e^{-\frac{A}{kT_1}}$ и $j_2 = BT_2^2 e^{-\frac{A}{kT_2}}$. Разделив

второе уравнение на первое, получим $\frac{j_2}{j_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^2 \times$

$$\times e^{-\frac{A}{k}\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)} = 2,6.$$

10.125. Во сколько раз катод из торированного вольфрама при температуре $T = 1800$ К даст большую удельную эмиссию, чем катод из чистого вольфрама при той же температуре? Эмиссионная постоянная для чистого вольфрама $B_1 = 0,6 \cdot 10^6$ А/(м²·К²), для торированного вольфрама $B_2 = 0,3 \cdot 10^7$ А/(м²·К²).

Решение:

Удельная эмиссия чистого вольфрама равна $j_1 = B_1 T^2 e^{-\frac{A_1}{kT}}$.

Удельная эмиссия торированного вольфрама равна

$j_2 = B_2 T^2 e^{-\frac{A_2}{kT}}$. По таблице 17 найдем $A_1 = 4,5 \text{ эВ} = 7,2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$; $A_2 = 2,63 \text{ эВ} = 4,2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$. Отсюда отно-

шение $\frac{j_2}{j_1} = \frac{B_2}{B_1} e^{\frac{1}{kT}(A_1 - A_2)}$. Подставляя числовые данные,

получим $\frac{j_2}{j_1} = 11 \cdot 10^3$.

10.126. При какой температуре T_2 торированный вольфрам будет давать такую же удельную эмиссию, какую дает чистый вольфрам при $T_1 = 2500 \text{ К}$? Необходимые данные взять из предыдущей задачи.

Решение:

Удельная эмиссия чистого вольфрама при температуре $T_1 = 2500 \text{ К}$ и торированного вольфрама при температу-

ре T_2 : $j_1 = B_1 T_1^2 \exp\left(-\frac{A_1}{kT_1}\right) = 2,84 \cdot 10^3 \text{ А/м}^2$, $j_2 = B_2 T_2^2 \times$

$\times \exp\left(-\frac{A_2}{kT_2}\right)$. По условию $j_1 = j_2$, т. е. $B_2 T_2^2 \exp\left(-\frac{A_2}{kT_2}\right) =$

$= 2,84 \cdot 10^3 \text{ А/м}^2$ — (1). Т. к. в основном зависимость удель-

ной эмиссии от температуры определяется экспоненциаль-

ным множителем $\exp\left(-\frac{A}{kT}\right)$, а не множителем T^2 , то в

первом приближении можно положить $B_2 T_1^2 \exp\left(-\frac{A_2}{kT_2}\right) =$

$$= B_2(2500)^2 \exp\left(-\frac{A_2}{kT_2}\right) 2,84 \cdot 10^3 \text{ А/м}^2; \text{ отсюда } \exp\left(-\frac{A_2}{kT_2}\right) =$$

$$= \frac{2,84 \cdot 10^3}{B_2 T_1^2} = 1,86 \cdot 10^{-8} \text{ и } T_2 = 1690 \text{ К} \text{ — первое прибли-$$

жение. Во втором приближении $B_2 \cdot (1690)^2 \times$
 $\times \exp\left(-\frac{A_2}{kT_2}\right) = 2,84 \cdot 10^3 \text{ А/м}^2$; отсюда $T_2 = 1770 \text{ К}$ — второе

приближение. Далее $B_2 \cdot (1770)^2 \exp\left(-\frac{A_2}{kT_2}\right) = 2,84 \cdot 10^3 \text{ А/м}^2$;

отсюда $T_2 = 1750 \text{ К}$ — третье приближение. Аналогично

$$B_2 \cdot (1750)^2 \exp\left(-\frac{A_2}{kT_2}\right) = 2,84 \cdot 10^3 \text{ А/м}^2; \text{ отсюда } T_2 = 1760 \text{ К} \text{ —}$$

четвертое приближение. Легко убедиться, что пятое приближение с точностью до третьей значащей цифры совпадает с четвертым приближением. Таким образом, искомое решение $T_2 = 1760 \text{ К}$.