

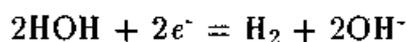
## МАРШРУТНЫЙ ЛИСТ

### ТЕМА ЗАНЯТИЯ: ЭЛЕКТРОЛИЗ. ЗАКОН ФАРАДЕЯ

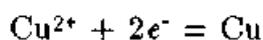
*Электролизом* называют окислительно-восстановительные реакции, протекающие на электродах при прохождении постоянного электрического тока через раствор электролита или его расплав. При этом на катоде происходит процесс восстановления — присоединения окислителем электронов из электрической цепи, а на аноде — окислительный процесс — переход электронов от восстановителя в электрическую цепь. Таким образом, в процессах электролиза катод выполняет функцию восстановителя, а анод — окислителя.

При определении продуктов электролиза водных растворов электролитов можно в простейших случаях руководствоваться следующими соображениями.

1. Ионы металлов с малой алгебраической величиной стандартного потенциала — от  $\text{Li}^+$  до  $\text{Al}^{3+}$  включительно — обладают весьма слабой тенденцией к обратному присоединению электронов, уступая в этом отношении ионам  $\text{H}^+$ . Именно поэтому при электролизе водных растворов соединений, содержащих эти катионы, функцию окислителя на катоде выполняют ионы  $\text{H}^+$ , восстанавливаясь при этом по схеме



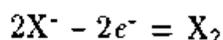
2. Катионы металлов с положительными значениями стандартных потенциалов ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Hg}^{2+}$  и др.) обладают большей тенденцией к присоединению электронов по сравнению с ионами  $\text{H}^+$ . При электролизе водных растворов их солей функцию окислителя на катоде выполняют эти катионы, восстанавливаясь при этом до металла по схеме, например



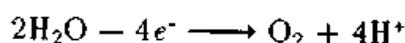
3. При электролизе водных растворов солей металлов  $\text{Zn}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Cd}$ ,  $\text{Ni}$  и др., занимающих в ряду стандартных электродных потенциалов среднее положение между перечисленными группами, процесс восстановления на катоде происходит по обеим схемам. Масса выделившегося металла не соответствует в этих случаях количеству протекшего электрического тока, часть которого расходуется на образование водорода.

4. В водных растворах электролитов функцию восстановителей по отношению к аноду-окислителю могут выполнить одноатомные анионы ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$ ), кислородсодержащие анионы ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  и др.), а также

гидроксильные ионы воды. Более сильными восстановительными свойствами из них обладают галогенид-ионы, за исключением  $F^-$ . Ионы  $OH^-$  занимают промежуточное положение между ними и многоатомными анионами. Поэтому при электролизе водных растворов  $HCl$ ,  $HBr$ ,  $HI$  или их солей на аноде происходит окисление галогенид-иона по схеме

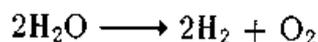


(здесь  $X - Cl, Br, I$ ). При электролизе же водных растворов сульфатов, нитратов, фосфатов и т.п. функцию восстановителя выполняет кислород воды, окисляясь при этом по схеме



Основываясь на приведенных схемах, нетрудно прийти к выводу, что при электролизе, например, водного раствора  $KBr$  на катоде выделяется водород, в катодном пространстве происходит накопление  $KOH$ , а на аноде выделяется бром. При электролизе раствора  $CuSO_4$  на катоде образуется медь, а на аноде выделяется кислород и одновременно увеличивается концентрация серной кислоты в анодном пространстве.

При электролизе же водных растворов  $H_2SO_4$ ,  $KOH$ ,  $NaOH$  химическому превращению фактически подвергается вода (см. п. 1 и 4), а суммарный процесс может быть выражен схемой



Процессы электролиза подчиняются **закону Фарадея**: *масса электролита, подвергшаяся химическому превращению, а также массы веществ, выделившиеся на электродах, прямо пропорциональны количеству протекшего через раствор электричества и молярным массам эквивалентов веществ:*

$$m = \mathcal{E}It/F,$$

где  $m$  — масса электролита, подвергшаяся химическому превращению, или масса веществ — продуктов электролиза, выделившихся на электродах;  $\mathcal{E}$  — молярная масса

эквивалентов вещества\*, или иона, г/моль, подвергающихся электролизу;  $I$  — сила тока, А;  $t$  — продолжительность электролиза, с;  $F$  — число Фарадея (96 500 Кл/моль).

Анализ этой формулы позволяет сделать следующие выводы.

1. Если  $It = 96500$  Кл, то  $m = \mathcal{E}$ . Для химического превращения 1 моль эквивалентов вещества\*\* необходимо пропустить через раствор (или расплав) 96500 Кл, или 26,8 А·ч (1 А·ч = 3600 Кл) электричества.

2. Если  $It = 1$  Кл, то  $m = \mathcal{E}/F$ . Отношение  $\mathcal{E}/F$ , называемое *электрохимическим эквивалентом*, представляет собой массу вещества, подвергшуюся химическому превращению, или массу продуктов электролиза, выделившихся на электродах при прохождении через раствор 1 Кл электричества.

3. При прохождении одного и того же количества электричества через ряд растворов (расплавов) массы веществ, восстановившихся на катоде и окислившихся на аноде, пропорциональны молярным массам их эквивалентов.

**Пример 1.** Ток 5 А проходил в течение 1 ч через разбавленный раствор  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Вычислите массу разложившейся воды и объемы водорода и кислорода, выделившихся на электродах ( $0^\circ\text{C}$  и 101,3 кПа).

**Решение.** Количество электричества, протекшего через раствор, составляет 5 А·ч. Если 26,8 А·ч выделяют или разлагают 1 моль эквивалентов, то 5 А·ч выделяют или разложат  $\frac{5}{26,8}$  моль эквивалентов. 1 моль эквивалентов воды имеет массу 9 г, а  $\frac{5}{26,8}$  моль составят  $\frac{9 \cdot 5}{26,8} = 1,67$  г  $\text{H}_2\text{O}$ . При нормальных условиях 1 моль эквивалентов водорода занимает 11,2 л, а искомый

---

\* При электролизе раствора  $\text{CuSO}_4$  электролизу, по существу, подвергается вещество  $\text{CuO}$ , молярная масса эквивалентов которого равна 39,8 г/моль.

\*\* Здесь — окислительно-восстановительные эквиваленты.

объем водорода  $\frac{11,2 \cdot 5}{26,8} = 2,09$  л. Моль эквивалентов кислорода занимает объем 5,6 л, а искомый объем  $\frac{5,6 \cdot 5}{26,8} = 1,045$  л.

**Пример 2.** Определите силу тока при электролизе, если за 50 мин выделилась вся медь из 120 мл 0,4 н. раствора  $\text{CuSO}_4$ .

*Решение.* В 120 мл 0,4 н.  $\text{CuSO}_4$  содержится  $\frac{0,4 \cdot 120}{1000} = 0,048$  моль эквивалентов  $\text{CuSO}_4$  и, следовательно, такое же количество, т.е. 0,048 моль, эквивалентов меди. Составляем пропорцию:

на выделение 1 моль экв. Cu затрачивается 96 500 Кл  
» » 0,048 » » Cu » I 50·60 »

где  $I$  - искомая сила тока. Отсюда

$$I = \frac{96500 \cdot 0,048}{50 \cdot 60} = 1,54 \text{ А.}$$

**Пример 3.** При электролизе раствора  $\text{CuSO}_4$  на аноде выделилось 350 мл кислорода при 0°С и 101,3 кПа. Сколько граммов меди выделилось на катоде?

*Решение.* Моль эквивалентов кислорода занимает объем 5,6 л при 0°С и 101,3 кПа; следовательно, 350 мл составляют  $\frac{0,35}{5,6} = 0,0625$  моль, столько же молей эквивалентов меди выделилось на катоде; отсюда масса меди  $\frac{63,54}{2} 0,0625 = 1,98$  г.

**ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ТЕМЫ РЕКОМЕНДУЮ ПРОСМОТРЕТЬ ВИДЕО И ТАБЛИЦЫ ПО ДАННЫМ ССЫЛКАМ**

<https://i.pinimg.com/originals/c3/06/7d/c3067dc5b45c62bf75db5316a93a99e5.jpg>

<https://theslide.ru/img/thumbs/0e70064df916217b67f1edc166f5f430-800x.jpg>

<https://www.youtube.com/watch?v=-ROZOKU5ncM>

<https://youtu.be/LtuAF1BL97U>

## ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ОЛИМПИАДНЫХ ЗАДАЧ

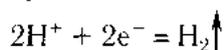
### Задача 100

Окислительно-восстановительные реакции, протекающие под действием электрического тока, широко используются в химической промышленности для получения многих соединений.

а) *Какие вещества могут быть получены при электролизе водного раствора NaCl и его расплава? Приведите схемы протекающих при этом процессов.*

### Задача 100

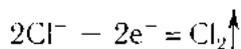
а) При электролизе водного раствора NaCl на катоде происходит восстановление ионов водорода:



и выделение газообразного водорода.

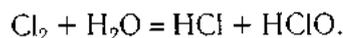
В катодном пространстве накапливаются гидроксид-ионы.

На аноде происходит окисление хлорид-ионов:



и выделяется хлор.

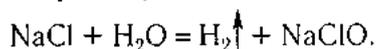
Выделяющийся хлор частично растворяется в воде и реагирует с ней:



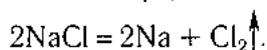
Состав получаемых в растворе продуктов зависит от конструкции электролизной ванны — изолированы ли между собой катодное и анодное пространства. Если изолированы, то в катодном пространстве накапливается гидроксид натрия NaOH, а в анодном — смесь кислот HCl и HClO (в небольшом количестве). Если катодное и анодное пространства перемешиваются, то протекает реакция:



и в ходе электролиза в растворе накапливается гипохлорит натрия:



При электролизе расплава NaCl образуется металлический натрий (на катоде) и выделяется хлор (на аноде):



### Задача 112

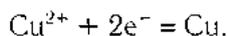
Для электрохимического меднения наиболее широко применяется сульфатный электролит, в состав которого входят  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и  $\text{CuSO}_4$ . В качестве анода используют медную пластину, а катодом служит металлическая деталь, на которую необходимо нанести медное покрытие.

а) *Какие процессы протекают на электродах при осаждении меди из данного электролита?*

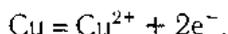
б) *Рассчитайте, какое время необходимо для того, чтобы покрыть деталь площадью  $1,0 \text{ м}^2$  медной пленкой толщиной  $20 \text{ мкм}$ , если выход по току составляет  $96 \%$ , а рекомендуемая плотность тока равна  $5,0 \text{ А/дм}^2$ . Плотность медного покрытия принять равной  $8,9 \text{ г/см}^3$ .*

### Задача 112

а) На катоде происходит восстановление ионов  $\text{Cu}^{2+}$  до металла и его осаждение на деталь:



На аноде происходит окисление материала анода (меди) и переход его в раствор:



б) Рассчитаем массу медного покрытия. Его объем равен  $1,0 \cdot 20 \cdot 10^{-6} = 20 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$ . Масса меди равна  $20 \cdot 10^{-6} \cdot 8,9 \cdot 10^6 = 178 \text{ г}$ , что соответствует  $\frac{178}{63,5} = 2,80$  моль или  $2 \cdot 2,80 = 5,60$  моль-эквивалента меди.

Для электрохимического выделения такого количества меди необходимо  $5,60 \cdot 96\,500 = 5,40 \cdot 10^5$  Кл электричества.

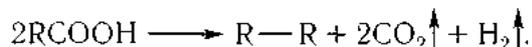
С учетом 96 %-го выхода потребуется  $\frac{5,40 \cdot 10^5}{0,96} = 5,63 \cdot 10^5$  Кл.

При площади детали  $1,0 \text{ м}^2 = 100 \text{ дм}^2$  рекомендуемая сила тока будет равна  $100 \cdot 5,0 = 500 \text{ А}$ .

Тогда время, необходимое для осаждения покрытия, составит  $\frac{5,63 \cdot 10^5}{500} = 1,13 \cdot 10^3 \text{ с}$ , или 19 мин.

### Задача 159

При электролизе водных растворов карбоновых кислот протекает реакция Кольбе, суммарное уравнение которой можно представить следующим образом:

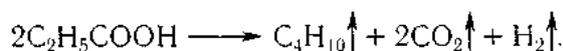
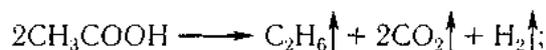


При проведении электролиза водного раствора смеси уксусной и пропионовой кислот на аноде выделяется смесь газов. Анализ этой смеси показал, что в ней присутствуют три газообразных углеводорода в объемном отношении 10 : 14 : 5 (газы расположены в порядке возрастания молекулярных масс).

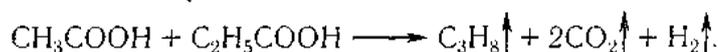
- Напишите уравнения реакций, протекающих при электролизе данной смеси кислот.
- Предложите механизм реакции Кольбе.
- Какие газы выделяются на катоде, а какие — на аноде в описанном эксперименте?
- Определите отношение скоростей реакций электролиза двух кислот в данных условиях.
- Как можно проанализировать смесь газов, выделившуюся на аноде?

### Задача 159

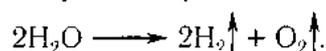
а) Электросинтез Кольбе ведет к образованию водорода на катоде и окислению аниона карбоновой кислоты на аноде с образованием углекислого газа и алкана:



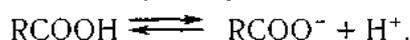
Третий углеводород образуется в результате перекрестной рекомбинации алкильных радикалов:



Параллельно может протекать реакция электролиза воды:



б) Механизм процесса можно описать следующим образом. Кислота диссоциирует в водном растворе:



Далее ионы  $\text{H}^+$  разряжаются на катоде, а  $\text{RCOO}^-$  — на аноде.

Можно заключить, что углеводороды образуются из промежуточных частиц, которыми являются радикалы (при рекомбинации двух таких частиц образуется молекула углеводорода).

Радикалы формируются на аноде при окислении анионов карбоновой кислоты и распаде промежуточных частиц:



Образующиеся радикалы рекомбинируют:



в) Таким образом, выделяются следующие газы:

на катоде —  $\text{H}_2$ ;

на аноде —  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8$ ,  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ .

г) По определению скорость химической реакции:

$$v = \pm \frac{1}{a} \cdot \frac{dn(A)}{dt},$$

где  $dn(A)$  — изменение количества моль вещества в единице объема за время  $dt$  (знак «+» — для продукта реакции, «-» — для исходного вещества);  $a$  — стехиометрический коэффициент при веществе  $A$  в уравнении реакции.

Для газов объемные доли в смеси совпадают с мольными и равны:

$$\text{для } C_2H_6 \frac{10}{10+14+5} = 0,345;$$

$$\text{для } C_3H_8 \frac{14}{10+14+5} = 0,483;$$

$$\text{для } C_4H_{10} \frac{5}{10+14+5} = 0,172.$$

Молекула  $C_2H_6$  образуется из двух радикалов  $CH_3\cdot$ , молекула  $C_3H_8$  — из радикалов  $CH_3\cdot$  и  $C_2H_5\cdot$ , молекула  $C_4H_{10}$  — из двух радикалов  $C_2H_5\cdot$ .

Число радикалов  $CH_3\cdot$  равно числу молекул  $CH_3COOH$ , вступивших в реакцию. Аналогично, число радикалов  $C_2H_5\cdot$  равно числу молекул  $C_2H_5COOH$ , вступивших в реакцию.

Пусть за время  $dt$  выделилось  $dn$  моль смеси углеводородов. В этом случае количества молей радикалов  $CH_3\cdot$  и  $C_2H_5\cdot$ , пошедших на образование данного количества смеси, равны:

$$\begin{aligned} n(CH_3\cdot) &= (x(C_3H_8) + 2 \cdot x(C_2H_6)) \cdot dn = \\ &= (0,483 + 2 \cdot 0,345) \cdot dn = 1,173 \cdot dn; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n(C_2H_5\cdot) &= (x(C_3H_8) + 2 \cdot x(C_4H_{10})) \cdot dn = \\ &= (0,483 + 2 \cdot 0,172) \cdot dn = 0,827 \cdot dn. \end{aligned}$$

Скорость реакции электролиза  $CH_3COOH$ :

$$v_1 = -\frac{dn(CH_3COOH)}{dt} = \frac{dn(CH_3\cdot)}{dt} = 1,173 \cdot \frac{dn}{dt}.$$

Аналогично, скорость реакции электролиза  $C_2H_5COOH$ :

$$v_2 = -\frac{dn(C_2H_5COOH)}{dt} = \frac{dn(C_2H_5\cdot)}{dt} = 0,827 \cdot \frac{dn}{dt}.$$

$$\text{Тогда } \frac{v_1}{v_2} = \frac{1,173}{0,827} = 1,418.$$

В данных условиях электролиза уксусная кислота разлагается в 1,42 раза быстрее пропионовой.

д) Смесь газов, выделившуюся на аноде, можно проанализировать, например, методом газовой хроматографии.

#### Задача 214

В качестве исходных соединений для получения высших алифатических кислот можно использовать Na-соли моноэфиров дикарбоновых кислот с меньшим количеством атомов углерода. Удлинение углеродного скелета осуществляется электролизом раствора этой соли в присутствии еще одного соединения.

а) Приведите общую схему и укажите продукты, образующиеся при электролизе натриевых солей монокарбоновых кислот.

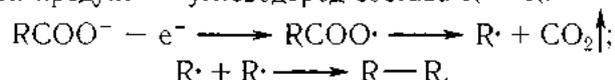
б) Какое соединение необходимо добавить к натриевой соли монометилового эфира адипиновой кислоты, чтобы указанным выше способом получить эйкозановую кислоту ( $C_{19}H_{39}COOH$ )?

в) Какие продукты образуются в этом синтезе наряду с эйкозановой кислотой?

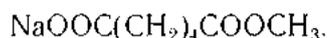
г) Как выделить эйкозановую кислоту из реакционной смеси после электролиза?

### Задача 214

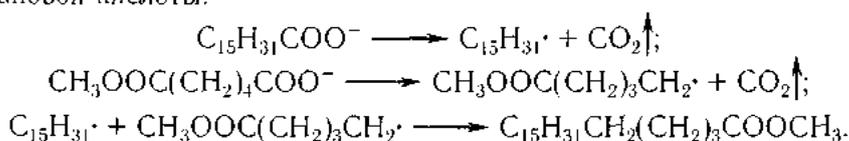
а) В растворе Na-соли монокарбоновой кислоты присутствуют анионы  $\text{RCOO}^-$ , которые окисляются на аноде до соответствующих радикалов  $\text{RCOO}\cdot$ . Последние самопроизвольно декарбоксилируются в ходе реакции до радикалов  $\text{R}\cdot$ , при димеризации которых образуется основной продукт — углеводород состава  $\text{R—R}$ :



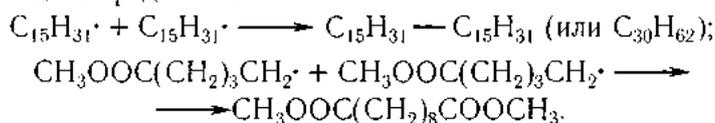
б) Необходимо проводить электролиз смеси пальмитата натрия  $\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COONa}$  и натриевой соли монометилового эфира адипиновой кислоты



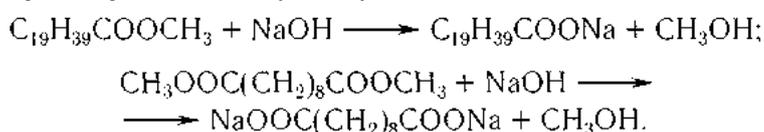
Одним из продуктов в этом случае будет метиловый эфир эйкозановой кислоты:



в) Кроме метилового эфира эйкозановой кислоты, в реакционной смеси будут присутствовать вещества, образованные соединением получающихся радикалов:



г) Для выделения эйкозановой кислоты необходимо сначала провести гидролиз двух сложных эфиров до соответствующих натриевых солей раствором  $\text{NaOH}$  при нагревании:



Затем необходимо удалить из реакционной смеси углеводород  $\text{C}_{30}\text{H}_{62}$  экстракцией подходящим растворителем (гексан, эфир).

После этого следует подействовать раствором  $\text{HCl}$  для получения смеси соответствующих карбоновых кислот, которые нерастворимы в воде.

Между собой кислоты можно разделить методом перекристаллизации, поскольку дикарбоновая и монокарбоновая кислоты имеют существенно различные растворимости, или же хроматографически.

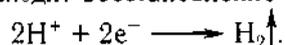
### Задача 292

При электролизе с перемешиванием 10 %-го раствора ацетата натрия объемом 0,5 л, имеющего плотность  $1,07 \text{ г/см}^3$ , на катоде и аноде выделились газообразные продукты, объемы которых при н. у. соответственно равны 4,48 л и 11,2 л.

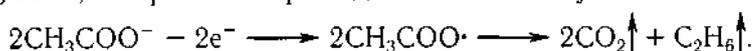
- Рассчитайте относительную плотность по водороду газообразных продуктов, выделившихся на аноде и катоде.
- Сколько времени продолжался электролиз при силе тока 5,36 А?
- Вычислите массовые доли веществ в растворе, полученном после электролиза.

### Задача 292

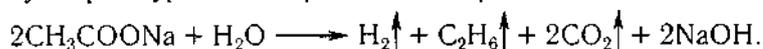
а) На катоде происходит восстановление ионов  $H^+$ :



На аноде происходит окисление ацетат-ионов до радикалов  $CH_3COO\cdot$ , которые затем распадаются на этан и углекислый газ:



Суммарное уравнение процесса электролиза:



Итак, на катоде выделяется  $H_2$ , на аноде — смесь  $CO_2$  и  $C_2H_6$ .

Поскольку на катоде выделилось  $\frac{4,48}{22,4} = 0,20$  моль водорода, на аноде должно было выделиться 0,60 моль газа (0,40 моль  $CO_2$  и 0,20 моль  $C_2H_6$ ).

Так как выделилось только  $\frac{11,2}{22,4} = 0,50$  моль, то можно сделать вывод о том, что 0,10 моль  $CO_2$  поглотилось образовавшимся раствором  $NaOH$ , и газовая смесь состоит из 0,20 моль  $C_2H_6$  и 0,30 моль  $CO_2$ .



Мольная доля углекислого газа в смеси равна  $\frac{0,30}{0,50} = 0,60$ , или 60 %, а мольная доля этана —  $\frac{0,20}{0,50} = 0,40$ , или 40 %.

$$M(CO_2) = 44 \text{ г/моль};$$

$$M(C_2H_6) = 30 \text{ г/моль}.$$

Средняя молярная масса газовой смеси равна  $(0,60 \cdot 44 + 0,40 \cdot 30) = 38,4$  г/моль. Относительная плотность по водороду газа, выделившегося на аноде, равна  $\frac{38,4}{2} = 19,2$ , а газа, выделившегося на катоде, — 1 (поскольку это водород).

б) Молярный объем эквивалента водорода равен 11,2 л, на выделение которого требуется 96 500 Кл электричества (закон Фарадея).

На выделение 4,48 л водорода было затрачено  $\frac{4,48 \cdot 96\,500}{11,2} = 38\,600$  Кл.

При силе тока 5,36 А электролиз продолжался  $\frac{38600}{5,36} = 7200$  с = 2 ч.

в) В исходном растворе содержалось  $500 \cdot 1,07 \cdot 0,10 = 53,5$  г ацетата натрия.

$$M(CH_3COONa) = 82 \text{ г/моль}.$$

Поскольку выделилось 0,20 моль этана, то разложилось 0,40 моль, или  $0,40 \cdot 82 = 32,8$  г, ацетата натрия.

Тогда в растворе осталось  $(53,5 - 32,8) = 20,7$  г  $CH_3COONa$ .

В результате электролиза образовалось 0,40 моль  $NaOH$ , из которых 0,20 моль превратилось в 0,10 моль  $Na_2CO_3$ . В конечном растворе содержалось 0,20 моль  $NaOH$  и 0,10 моль  $Na_2CO_3$ .

$$M(NaOH) = 40 \text{ г/моль};$$

$$M(Na_2CO_3) = 106 \text{ г/моль}.$$

В растворе содержится  $0,20 \cdot 40 = 8,0$  г  $NaOH$  и  $0,10 \cdot 106 = 10,6$  г  $Na_2CO_3$ .

Из раствора выделилось 0,20 моль водорода (это  $2 \cdot 0,20 = 0,40$  г), 0,20 моль этана (это  $30 \cdot 0,20 = 6,0$  г) и 0,30 моль углекислого газа (это  $44 \cdot 0,30 = 13,2$  г).

Масса раствора после электролиза равна  $(535 - 0,40 - 6,0 - 13,2) = 515,4$  г.

Массовые доли веществ в растворе:

$$\omega(\text{CH}_3\text{COONa}) = \frac{20,7}{515,4} = 0,0402, \text{ или } 4,02 \%;$$

$$\omega(\text{NaOH}) = \frac{8,0}{515,4} = 0,0155, \text{ или } 1,55 \%;$$

$$\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{10,6}{515,4} = 0,0206, \text{ или } 2,06 \%.$$

## ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

667. Сколько граммов меди выделится на катоде при электролизе раствора  $\text{CuSO}_4$  в течение 40 мин при силе тока 1,2 А?

668. Сколько минут следует пропускать ток силой 0,5 А через раствор  $\text{AgNO}_3$  для выделения 0,27 г серебра?

669. Для выделения 1,75 г некоторого металла из раствора его соли потребовалось пропускать ток силой 1,8 А в течение 1,5 ч. Вычислите эквивалент металла.

670. Сколько минут потребуется для выделения всей меди из 40 мл 1/4 н. раствора  $\text{CuSO}_4$ ? Сила тока 1,93 А. 12

671. При какой силе тока можно получить на катоде 0,5 г Ni, подвергая электролизу раствор  $\text{NiSO}_4$  в течение 25 мин?

672. При какой силе тока можно в течение 15 мин выделить всю медь из 120 мл 0,2 н. раствора  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ?

673. Какова нормальная концентрация раствора  $\text{AgNO}_3$ , если для выделения всего серебра из 80 мл этого раствора потребовалось пропускать ток силой в 0,8 А в течение 20 мин?

674. Какова продолжительность электролиза 250 мл 6%-ного раствора  $\text{HgCl}_2$  ( $\rho = 1,05$ )? Сила тока 5,8 А.

675. Насыщенный при 20°C раствор медного купороса содержит 27%  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  ( $\rho = 1,2$ ). При какой силе тока можно в течение 3 ч выделить всю медь из 1 л такого раствора?

676. Ток 10 А проходит через электролизер, в котором находится 0,5 л 4,5%-ного раствора NaOH ( $\rho = 1,05$ ). Через сколько часов концентрация NaOH в растворе достигнет 10%?

677. Через электролизер, содержащий 10 л 7,4%-ного раствора KOH ( $\rho = 1,06$ ), пропускали ток в течение 2 сут, после чего оказалось, что концентрация KOH в растворе составляет 8%. Какова была сила тока?

678. Ток силой 6,7 А пропущен через электролизер, содержавший 400 мл 0,7 н.  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Сколько часов должен длиться электролиз для достижения нормальной концентрации?

679. Сколько минут потребуется для выделения 250 мл гремучего газа при электролизе разбавленной серной кислоты? Сила тока 0,5 А. Газ измерен при 7°C и 102,9 кПа.

680. При какой силе тока можно из водного раствора NaOH выделить 6 л кислорода в течение 3 ч? Газ измерен при 17°C и 98 кПа.

681. Сколько литров водорода выделится на катоде, если вести электролиз водного раствора KOH в течение 2,5 ч при силе тока 1,2 А? Газ измерен при 27°C и 101,8 кПа.

682. Ток последовательно проходит через ряд электролизеров, в которых содержатся водные растворы следующих электролитов: а)  $\text{CuSO}_4$ , б)  $\text{NiSO}_4$ , в)  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ .

г)  $\text{FeCl}_2$ . Определите массу металлов, выделившуюся на катодах, если известно, что у анода последнего электролизера выделилось 1,4 л хлора ( $0^\circ\text{C}$  и 101,3 кПа).

683. Ток 2,5 А выделил в течение 15 мин 0,72 г меди из раствора  $\text{CuSO}_4$ . Вычислите коэффициент полезного действия тока.

684. При электролизе водного раствора  $\text{NiSO}_4$  на аноде выделилось 3,8 л кислорода, измеренного при  $27^\circ\text{C}$  и 100 кПа. Сколько граммов Ni выделилось на катоде?

685. При электролизе в течение 30 мин раствора  $\text{NaCl}$  на аноде выделилось 2,8 л хлора при  $0^\circ\text{C}$  и 101,3 кПа. Какой объем 0,75 н. раствора  $\text{CuSO}_4$  можно подвергнуть химическому превращению при пропускании тока того же значения в течение 45 мин?

686. При электролизе раствора  $\text{AgNO}_3$  в течение 50 мин при силе тока 3 А на катоде выделилось 9,6 г серебра. Определите выход серебра в процентах от теоретического.

687. При электролитическом осаждении всего железа из 200 мл раствора  $\text{FeSO}_4$  на аноде выделилось 2712 мл кислорода. Газ был измерен при  $-3^\circ\text{C}$  и 103,4 кПа. Вычислите молярность раствора  $\text{FeSO}_4$ .

688. Ток проходит последовательно через два электролизера, содержащих соответственно 750 мл 0,12 н. раствора  $\text{AgNO}_3$  и раствор  $\text{ZnSO}_4$ . Сколько граммов Zn выделится на катоде за время, необходимое для химического превращения данного количества  $\text{AgNO}_3$ ?

## ОТВЕТЫ

667. 0,948 г. 668. 8 мин. 671. 17,37 а.е.м. 670. 8,33 мин. 671. 1,1 А. 672. 2,57 А. 673. 0,124 н. 674. 32,2 мин. 675. 23,2 А. 676. 86 ч. 677. 49,3 А. 678. 53,3 ч. 679. 47,4 мин. 680. 8,7 А. 681. 1,37 л. 682. а) 3,97 г; б) 3,67 г; в) 2,33 г; г) 3,49 г. 683. 97,2%. 684. 17,9 г. 685. 0,5 л. 686. 95,4%. 687. 1,25 моль/л. 688. 2,94 г.