

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ЭЛЕКТРОЛИЗ

Методические указания
к выполнению лабораторной работы
по дисциплине «Химия»
для студентов очной и заочной форм обучения

Севастополь
СевГУ
2020

УДК 544.6
Э45

Р е ц е н з е н т:

Л.А. Ничкова – кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Техносферная безопасность»
Севастопольского государственного университета

Составитель: А.В. Львов

Э45 Электролиз : методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Химия» для студентов очной и заочной форм обучения технических специальностей / Сост. А.В. Львов ; Министерство науки и высшего образования РФ, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет». – Севастополь: СевГУ, 2020. – 14 с. – Текст : электронный.

Целью методических указаний является оказание помощи студентам для систематизации знаний при подготовке и выполнении лабораторной работы и самостоятельном изучении темы "Электролиз".

УДК 544.6

Рассмотрены и утверждены на заседании ученого совета Института ядерной энергии и промышленности, протокол № 6 от 30 января 2020 г.

Рекомендованы в качестве методических указаний для студентов технических специальностей.

СОДЕРЖАНИЕ

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	4
1.1 Характеристики электролиза.....	4
1.2 Напряжение разложения и поляризации электродов.....	5
1.3. Последовательность электродных процессов.....	5
2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	8
2.1 Лабораторная работа "Электролиз".....	8
2.2 Вопросы и задачи.....	8
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	11
Приложение А.....	12

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Электролиз – процесс, в котором химические реакции происходят на электродах под действием постоянного электрического тока. Для того, чтобы осуществить процесс электролиза, необходимо пропускать через раствор электрический ток. В раствор или расплав помещают два электрода, один из которых подсоединен к положительному полюсу источника тока и является анодом, а другой – к отрицательному и является катодом. При электролизе электродные процессы происходят на двух электродах, и на показатели электролиза влияют процессы, протекающие на обоих электродах.

Процесс электролиза осуществляют с использованием постоянного тока. Однако возможны случаи, когда электролиз проводят и с реверсивным током.

1.1. Характеристики электролиза

Напряжение на электролизере.

Одним из важнейших показателей процесса электролиза является падение напряжения на электролизере. В общем случае напряжение на электролизере складывается из разности электродных потенциалов, падение напряжения в растворе электролита и на электродах:

$$U_{эл} = E_k - E_a + \Delta U_{р-р} + \Delta U_{электр.}$$

где E_a – потенциал поляризованного анода, В; E_k – потенциал поляризованного катода, В; $\Delta U_{р-р}$ – падение напряжения в растворе электролита, В; $\Delta U_{электр.}$ – падение напряжения на электродах, В.

Выход по массе.

Выходом по массе называется отношение массы вещества, фактически образовавшегося на электроде в результате пропускания через раствор постоянного электрического тока, к массе вещества, которое должно было бы образоваться в соответствии с законами Фарадея.

Выход по массе может быть выражен в долях единицы или в процентах:

$$B_T = (m_{\text{практ.}}/m_{\text{теор.}}) \cdot 100 \%,$$

где $m_{\text{практ.}}$ – фактическая масса вещества, образовавшегося на электроде; $m_{\text{теор.}}$ – теоретическая масса вещества.

Выход по массе целевых продуктов, получаемых на аноде и катоде, может быть различным.

Выход по энергии (по току).

Наряду с напряжением электролиза и выходом по массе для характеристики процесса электролиза иногда используется понятие выхода по энергии.

Выход по энергии (по току) равен отношению минимального возможного расхода энергии на получении данного целевого продукта ($Q_{\text{цел}}$) к общему расходу электроэнергии ($Q_{\text{общ}}$).

Выход по энергии $B_э$ может быть представлен в виде

$$B_э = (Q_{\text{цел}}/Q_{\text{общ}})100 \%,$$

Выход по энергии (по току), так же как и выход по массе, вычисляется либо в долях единицы, либо в процентах.

1.2. Напряжение разложения и поляризации электродов

Минимальное значение напряжения, которое надо приложить к электродам, чтобы начался процесс электролиза с заметным образованием электродных продуктов, называется напряжением разложения. Напряжение разложения может практически равняться разности равновесных электродных потенциалов либо заметно превышать ее. В случае если электроды близки к неполяризуемым, т.е. поляризация электродов мала и мало меняется с ростом плотности тока, то напряжение разложения практически равно разности электродных потенциалов.

В том случае, если хотя бы один из электродов сильно поляризуем, то протекание электролиза с заметной скоростью возможно только при достижении напряжения, существенно более высокого, чем разность электродных потенциалов.

Следует отметить, что при выделении на аноде кислорода происходит подкисление раствора у анода, а при выделении на катоде водорода – подщелачивание раствора у катода, что влияет на значения электродных потенциалов.

1.3. Последовательность электродных процессов

Последовательность электродных процессов при электролизе расплавов и растворов определяется окислительно-восстановительными потенциалами веществ, участвующих в электродных процессах, и описывается следующими правилами:

- на катоде восстанавливаются в последовательности вещества с потенциалами от больших к меньшим значениям;
- на аноде окисляются в последовательности вещества с потенциалами от меньших к большему значению.

При электролизе растворов молекулы воды являются участником электродных процессов на катоде и аноде. Потому последовательность электродных процессов более сложна и описывается уточняющими правилами. При восстановлении металлов на катоде из водных растворов их следует разделить на три группы:

1. *группа* – металлы с электродными потенциалами:

$$E^0_{\text{Me}} \geq -0,14\text{В} \quad (E^0_{\text{Sn}^{+2}/\text{Sn}^0} = -0,14\text{ В})$$

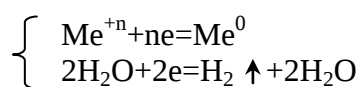
восстанавливаются на катоде без каких-либо побочных процессов:



2. *группа* – металлы с электродными потенциалами:

$$\begin{aligned} -1,66\text{В} < E^0_{\text{Me}} < -0,14\text{В} \\ (E^0_{\text{Sn}^{+2}/\text{Sn}^0} = -0,14\text{ В}, E^0_{\text{Al}^{+3}/\text{Al}^0} = -1,66\text{ В}) \end{aligned}$$

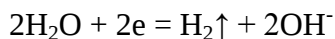
восстанавливаются на катоде совместно с восстановлением воды:



3. *группа* – металлы с электродными потенциалами:

$$E^0_{\text{Me}} \leq -1,66\text{ В} \quad (E^0_{\text{Al}^{+3}/\text{Al}^0} = -1,66\text{ В})$$

на катоде не восстанавливаются, а идет восстановление только молекул воды:



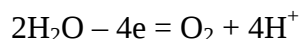
Процессы протекающие на аноде следует разделить в зависимости от материала анода.

Если анод инертный, т.е. материалом анода служит графит, платина и другие инертные металлы, то:

- окисляются анионы бескислородных кислот (S^{-2} , J^{-1} , Br^{-1} , Cl^{-1}) и гидроксильная группа (OH^{-1}) по реакциям:



- не окисляются анионы кислородсодержащих кислот (SO_4^{-2} , NO_3^{-1} , PO_4^{-3} и т.д.), а окисляются молекулы воды:



Если анод растворимый, т.е. материалом анода служит металл, неспособный пассивироваться под положительным потенциалом, то происходит окисление самого анода:



Пример 1. Какая масса олова выделиться на катоде, если через раствор SnSO_4 пропускать ток, силой 2 А в течение 2 часов?

Решение. Количество образовавшегося олова вычисляется по закону Фарадея:

$$m = \frac{M_{\text{э}} J \tau}{F},$$

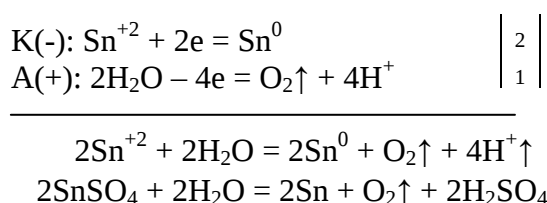
где $M_{\text{э}}$ – молярная масса эквивалента; J – сила тока, А; τ – время, с; F – постоянная Фарадея ($F = 96500$ Кл).

Молярная масса эквивалента олова в SnSO_4 равен $118,7:2 = 59,35$ г/моль.

Подставив в вышеприведенную формулу значения: $M_{\text{э}} = 59,35$ г/моль, $J = 2$ А, $\tau = 2 \cdot 60 \cdot 60 = 7200$ с, получим

$$M = \frac{59,35 \cdot 2 \cdot 7200}{96500} = 8,86 \text{ г.}$$

Электродные процессы:



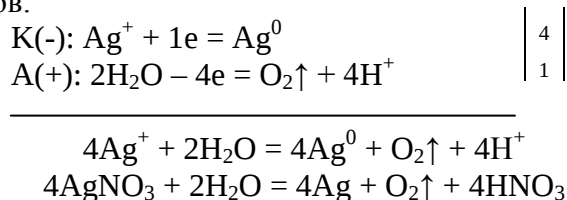
Пример 2. Сколько времени надо пропускать ток силой 8 А, чтобы из раствора AgNO_3 получить 5,39 г серебра? Составьте уравнения процессов.

Решение. Молярная масса эквивалента серебра 107,87 г/моль.

$$m = \frac{M_{\text{э}} J \tau}{F};$$

$$\tau = \frac{5,39 \cdot 96500}{107,87 \cdot 8} = 603 \text{ с} = 10 \text{ мин } 3 \text{ с.}$$

Уравнения процессов:

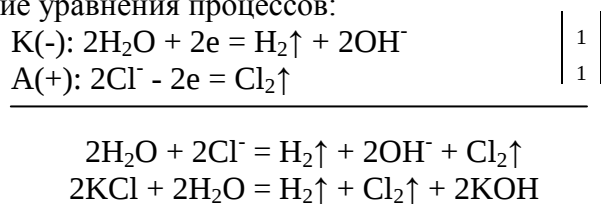


Пример 3. Какой силы ток следует пропускать через раствор KCl в течение 20 мин 5 с, чтобы на катоде выделилось 280 мл водорода, измеренного при нормальных условиях? Составьте электронные и общий уравнения процессов.

Решение. Объем эквивалента водорода при нормальных условиях $V_{\text{э}}(\text{H}_2) = 11200$ мл

$$J = \frac{96500 \cdot V(\text{H}_2)}{V_{\text{э}}(\text{H}_2) \cdot \tau} = \frac{280 \cdot 96500}{11200 \cdot 1205} = 2 \text{ А}$$

Электронные и общие уравнения процессов:



2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

2.1. Лабораторная работа по теме "Электролиз"

Опыт № 1. Электролиз раствора серной кислоты с медным анодом.

Налейте в электролизёр около $\frac{3}{4}$ его объема 1М раствор серной кислоты H_2SO_4 . Погрузите туда угольный и медный электроды. Угольный электрод соедините с отрицательным полюсом источника тока, медный – с положительным полюсом.

Что наблюдаете во время электролиза на катоде? На аноде?

Запишите электронные уравнения электродных процессов. К какому типу анодов относится медный анод? Какой ион накапливается в электролите в процессе электролиза? Каким внешним эффектом это подтверждается? Окажет ли это влияния на характер катодного процесса? Ответ подтвердите.

Опыт № 2. Электролиз раствора хлорида меди II. Электроды графитовые.

Налейте в электролизер 0,5М раствор хлорида меди CuCl_2 . Погрузите туда графитовые электроды и соедините их с источником постоянного тока.

Что наблюдаете на катоде? К какой группе катионов относится катион меди Cu^{2+} ?

Что наблюдаете на аноде? К какому типу анодов относится графитовый анод? К какой группе анионов относится ион Cl^- ?

Запишите электронные уравнения электродных процессов. Подтверждаются ли они визуальными наблюдениями?

Опыт № 3. Электролиз раствора сульфата натрия. Электроды графитовые.

В электролизер налейте 0,5М раствор сульфата натрия Na_2SO_4 . Погрузите туда графитовые электроды и соедините их с источником постоянного тока. Пропускайте ток в течение 5 - 7 минут.

Что наблюдаете? Одинаковое ли количество газа выделяется на обоих электродах? Отметьте, на каком из электродов выделение газов больше. После окончания электролиза извлеките электроды из раствора и прибавьте в катодное и анодное пространства по несколько капель универсального индикатора. Как изменилась окраска? Сравните ее со шкалой универсального индикатора и отметьте значение pH в катодном и анодном пространстве.

Запишите электронные уравнения электродных процессов и проанализируйте их, сравните с наблюдениями.

К какой группе катионов относится катион Na^+ ? К какой группе анионов относится анион SO_4^{2-} ? Что же подвергается электролизу? Для чего в состав электролитов при техническом электролизе при нанесении гальванических покрытий добавляют сульфат натрия.

2.2. Вопросы и задачи

1. Через раствор серной кислоты пропускали ток силой 2 А в течение 2 ч. Сколько литров водорода, измеренного при нормальных условиях, выделилось на катоде? Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на электродах, уравнения общего процесса.

2. Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на электродах при электролизе растворов: NiSO_4 ; NiCl_2 . В обоих случаях анод угольный, т.е. инертный. Напишите уравнения общих процессов.

3. При электролизе раствора SnSO_4 на аноде выделилось 420 мл кислорода, измеренного при нормальных условиях. Какая масса олова образовалась на катоде?

4. Какая масса воды разложилась, если через раствор нитрата калия пропускали ток силой 5 А в течение 5 ч?
5. Через раствор нитрата висмута пропускали ток силой 3 А в течение 2 ч. Какая масса висмута выделилась на катоде? Написать уравнение процессов на аноде и катоде, общий.
6. Через раствор фосфата натрия пропускали ток силой 6 А в течение 45 мин. Напишите уравнения электродных и общего процессов. Вычислите массы и объемы веществ, получившихся на электродах.
7. Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на электродах при электролизе: раствора NaOH; расплава NaOH. Напишите уравнения общих процессов.
8. Через раствор хлорида калия пропускали ток в течение 2 ч, в результате чего выделилось 5,6 л хлора, измеренного при нормальных условиях. Вычислите силу тока. Напишите уравнения процессов.
9. Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на электродах при электролизе раствора нитрата меди (II) в случае графитового анода; в случае медного анода.
10. Сколько времени пропускали ток силой 2 А через раствор хлорида лития, если при этом образовалось 50 г едкого лития?
11. Через растворы NiSO_4 и $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ пропускали одно и то же количество электричества. На одном из катодов выделилось 25,9 г свинца. Сколько граммов никеля выделилось на другом катоде? Сколько литров кислорода, измеренного при нормальных условиях, выделилось на каждом из анодов?
12. Через раствор бромида лития пропускали ток силой 15 А в течение 16 мин. Какой объем водорода, измеренного при нормальных условиях, выделился на катоде? Какая масса гидроксида лития образовалось у катода, брома у анода. Написать уравнения процессов.
13. Ток силой 10 А пропускали в течение 20 мин через раствор серной кислоты при медном аноде. Рассчитать изменения массы анода? Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на электродах, уравнение общего процесса.
14. Какие процессы происходят на электродах при электролизе раствора NaNO_3 : если анод серебряный; если анод угольный; Составьте уравнения электродных и общих процессов.
15. Сколько времени пропускали ток силой 8 А через раствор сульфата никеля, если масса никелевого анода стала меньше на 0,88 г?
16. Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на электродах при электролизе растворов: CdCl_2 , CdSO_4 . В обоих случаях анод угольный.
17. Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на электродах при электролизе раствора MgBr_2 (анод угольный). Какие вещества и в каких количествах образовались, если пропустить через него ток силой 5 А в течение 30 мин?
18. Сколько времени пропускали ток силой 10 А через раствор гидроксида лития, если было получено 8,4 л водорода, измеренного при нормальных условиях? Составьте уравнения процессов.

19. Через расплав фторида кальция пропускали ток силой 2 А в течение 60 мин. Какая масса веществ образовалась на электродах? Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на угольных электродах, уравнение общего процесса.

20. В течение 120 мин пропускали через раствор гидроксида кальция ток силой 3 А. Какой объем газов выделился на электродах? Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на электродах, уравнение общего процесса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Угай Я.А. Общая и неорганическая химия: учебник для вузов. – 2-е изд., испр. / Я.А. Угай. – М.: Высш. шк., 2000. – 527 с.
2. Рабинович В.А. Краткий химический справочник / В.А. Рабинович, З.Я. Хавин; под ред. А.А. Потехина, А.И. Ефимова. – Л.: Химия, 1991. – 432 с.
3. Глинка Н.Л. Задачи и упражнения по общей химии: учеб.-практ. пособие / Н.Л. Глинка; под ред. В.А. Попкова, А.В. Бабкова. – 14-е изд. – М.: Юрайт, 2017. – 236 с.
4. Глинка Н.Л. Общая химия / Н.Л. Глинка. – М.: Юрайт, 2013. – 914 с.

Приложение А

Таблица А.1 - Таблица растворимости кислот, оснований и солей в воде

РАСТВОРИМОСТЬ СОЛЕЙ, КИСЛОТ И ОСНОВАНИЙ В ВОДЕ

катион анион	H ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Na ⁺	Ag ⁺	Ba ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Zn ²⁺	Cu ²⁺	Hg ²⁺	Pb ²⁺	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Al ³⁺
OH ⁻		Р	Р	Р	—	Р	М	М	Н	Н	—	М	Н	Н	Н
NO ₃	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р
Cl ⁻	Р	Р	Р	Р	Н	Р	Р	Р	Р	Р	Р	М	Р	Р	Р
S ²⁻	Р	Р	Р	Р	Н	Р	—	—	Н	Н	Н	Н	Н	Н	—
SO ₃ ²⁻	Р	Р	Р	Р	М	М	М	Р	М	—	—	Н	М	—	—
SO ₄ ²⁻	Р	Р	Р	Р	М	Н	М	Р	Р	Р	—	М	Р	Р	Р
CO ₃ ²⁻	Р	Р	Р	Р	М	Н	Н	М	М	—	Н	Н	Н	—	—
SiO ₃ ²⁻	Н	—	Р	Р	Н	Н	Н	Н	Н	—	—	Н	Н	—	—
PO ₄ ³⁻	Р	—	Р	Р	Н	Н	Н	М	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н
CH ₃ COO ⁻	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р

Р

- растворимые
(больше 1 г в
100 г воды)

М

- малорастворимые
(от 0,001 г до 1 г
в 100 г воды)

Н

- нерастворимые
(меньше 0,001 г
в 100 г воды)

—

- разлагаются водой
или не существуют

зарегистрировано

Таблица А.2 - Стандартные электродные потенциалы металлов в водных растворах (ряд напряжений металлов)

Электрод	Электродная реакция	$E^0, \text{В}$
Li ⁺ /Li	$\text{Li}^+ + \bar{e} = \text{Li}$	-3,05
K ⁺ /K	$\text{K}^+ + \bar{e} = \text{K}$	-2,93
Cs ⁺ /Cs	$\text{Cs}^+ + \bar{e} = \text{Cs}$	-2,92
Ra ²⁺ /Ra	$\text{Ra}^{2+} + 2\bar{e} = \text{Ra}$	-2,91
Ba ²⁺ /Ba	$\text{Ba}^{2+} + 2\bar{e} = \text{Ba}$	-2,90
Ca ²⁺ /Ca	$\text{Ca}^{2+} + 2\bar{e} = \text{Ca}$	-2,87
Na ⁺ /Na	$\text{Na}^+ + \bar{e} = \text{Na}$	-2,71
La ³⁺ /La	$\text{La}^{3+} + 3\bar{e} = \text{La}$	-2,52
Mg ²⁺ /Mg	$\text{Mg}^{2+} + 2\bar{e} = \text{Mg}$	-2,36
Be ²⁺ /Be	$\text{Be}^{2+} + 2\bar{e} = \text{Be}$	-1,85
Al ³⁺ /Al	$\text{Al}^{3+} + 3\bar{e} = \text{Al}$	-1,66
Ti ²⁺ /Ti	$\text{Ti}^{2+} + 2\bar{e} = \text{Ti}$	-1,63
V ²⁺ /V	$\text{V}^{2+} + 2\bar{e} = \text{V}$	-1,19
Mn ²⁺ /Mn	$\text{Mn}^{2+} + 2\bar{e} = \text{Mn}$	-1,18
Cr ²⁺ /Cr	$\text{Cr}^{2+} + 2\bar{e} = \text{Cr}$	-0,91
Zn ²⁺ /Zn	$\text{Zn}^{2+} + 2\bar{e} = \text{Zn}$	-0,76
Cr ³⁺ /Cr	$\text{Cr}^{3+} + 3\bar{e} = \text{Cr}$	-0,74
Fe ²⁺ /Fe	$\text{Fe}^{2+} + 2\bar{e} = \text{Fe}$	-0,44
Cd ²⁺ /Cd	$\text{Cd}^{2+} + 2\bar{e} = \text{Cd}$	-0,40
Co ²⁺ /Co	$\text{Co}^{2+} + 2\bar{e} = \text{Co}$	-0,28
Ni ²⁺ /Ni	$\text{Ni}^{2+} + 2\bar{e} = \text{Ni}$	-0,25
Mo ³⁺ /Mo	$\text{Mo}^{3+} + 3\bar{e} = \text{Mo}$	-0,20
Sn ²⁺ /Sn	$\text{Sn}^{2+} + 2\bar{e} = \text{Sn}$	-0,14
Pb ²⁺ /Pb	$\text{Pb}^{2+} + 2\bar{e} = \text{Pb}$	-0,13
W ³⁺ /W	$\text{W}^{3+} + 3\bar{e} = \text{W}$	-0,05
Fe ³⁺ /Fe	$\text{Fe}^{3+} + 3\bar{e} = \text{Fe}$	-0,04
2H ⁺ /H ₂	$2\text{H}^+ + 2\bar{e} = \text{H}_2$	0
Ge ²⁺ /Ge	$\text{Ge}^{2+} + 2\bar{e} = \text{Ge}$	+0,01
Sb ³⁺ /Sb	$\text{Sb}^{3+} + 3\bar{e} = \text{Sb}$	+0,20
Bi ³⁺ /Bi	$\text{Bi}^{3+} + 3\bar{e} = \text{Bi}$	+0,23
Cu ²⁺ /Cu	$\text{Cu}^{2+} + 2\bar{e} = \text{Cu}$	+0,34
Cu ⁺ /Cu	$\text{Cu}^+ + \bar{e} = \text{Cu}$	+0,52
Ag ⁺ /Ag	$\text{Ag}^+ + \bar{e} = \text{Ag}$	+0,80
Hg ²⁺ /Hg	$\text{Hg}^{2+} + 2\bar{e} = \text{Hg}$	+0,85
Pd ²⁺ /Pd	$\text{Pd}^{2+} + 2\bar{e} = \text{Pd}$	+0,99
Pt ²⁺ /Pt	$\text{Pt}^{2+} + 2\bar{e} = \text{Pt}$	+1,20
Au ³⁺ /Au	$\text{Au}^{3+} + 3\bar{e} = \text{Au}$	+1,50
Au ⁺ /Au	$\text{Au}^+ + \bar{e} = \text{Au}$	+1,70

Таблица А.3 – Периодическая система Д.И. Менделеева

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА																													
I		II		III		IV		V																					
VI		VII		VIII																									
1	H водород 1,00794	2	He гелий 4,00260	 Периодический закон открыт Д.И. МЕНДЕЛЕЕВЫМ в 1869 году																									
2	Li литий 6,94	3	Be бериллий 9,01218	4	B бор 10,81	5	C углерод 12,011	6	N азот 14,0067																				
3	Na натрий 22,98977	11	Mg магний 24,305	12	Al алюминий 26,98154	13	Si кремний 28,085	14	P фосфор 30,97376																				
4	K калий 39,098	19	Ca кальций 40,08	20	Sc скандий 44,9558	21	Ti титан 47,88	22	V ванадий 50,9415																				
5	Rb рубидий 85,467	37	Sr стронций 87,62	38	Y иттрий 88,9058	39	Zr цирконий 91,22	40	Nb ниобий 92,9064																				
6	Cs цезий 132,9054	55	Ba барий 137,33	56	La лантан 138,9055	57	Ce церий 140,12	58	Pr приметий 140,9077																				
7	Fr франций [223]	87	Ra радий 226,0254	88	Ac актиний [227]	89	Th торий 232,0381	90	Pa протактиний 231,0368																				
Атомные массы приведены по Менделеевой таблице 1981 года. Точность последних значащих цифр ±1 м.д., если она выделена мелким шрифтом. В квадратных скобках приведены массовые числа наиболее устойчивых изотопов. — s-элементы — p-элементы — d-элементы — f-элементы * лантаноиды * актиноиды																													
57	La лантан 138,905	58	Ce церий 140,12	59	Pr приметий 140,9077	60	Nd неодим 144,24	61	Pm прометий [145]	62	Sm самарий 150,4	63	Eu европий 151,96	64	Gd гадолиний 157,25	65	Tb тербий 158,9254	66	Dy диспрозий 162,50	67	Ho гольмий 164,9304	68	Er эрбий 167,26	69	Tm тулий 168,9342	70	Yb ytterбий 173,05	71	Lu лютеций 174,967
89	Ac актиний [227]	90	Th торий 232,0381	91	Pa протактиний 231,0368	92	U уран 238,0289	93	Np нептуний 237,0482	94	Pu плутоний [244]	95	Am амерций [243]	96	Cm курий [247]	97	Bk берклий [247]	98	Cf калifornий [251]	99	Es ейзенштейний [252]	100	Fm фермий [257]	101	Md менделевий [258]	102	No нобеллий [259]	103	Lr лоуренсий [262]

ЭЛЕКТРОЛИЗ

*Методические указания
к выполнению лабораторной работы*

*Составитель: **Львов** Александр Владимирович*

В авторской редакции

Изд. № 67/2020. Объем 1 п.л.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»