



# **ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОХИМИИ**

**Методические указания  
к практическим работам  
для студентов  
нехимических специальностей**

**Иваново**

**2009**

Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение

высшего профессионального образования

Ивановский государственный химико-технологический университет

# **ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОХИМИИ**

**Методические указания  
к практическим работам  
для студентов  
нехимических специальностей**

Составители: Н.А. Фомина,  
Н.Г. Манин,  
О. В. Гречин,  
Г.Н. Лёвочкина

Иваново 2009

Составители: Н.А Фомина, Н.Г. Манин, О. В. Гречин, Г.Н. Лёвочкина

УДК 544.6(07)

Основы электрохимии: метод. указания к практическим работам для студентов нехимических специальностей/ Сост.: Н.А Фомина, Н.Г. Манин, О.В. Гречин, Г.Н. Лёвочкина; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. - Иваново, 2009. - 48 с.

В методических указаниях кратко изложены основные понятия электрохимии и разобраны методы решения типовых задач. Указания являются руководством к самостоятельной подготовке студентов при решении задач по основным разделам: гальванические элементы, электролиз, электрохимическая коррозия. Практические задания рассчитаны на индивидуальное выполнение.

Рецензент:

доктор химических наук С.А. Сырбу  
(Ивановский государственный университет)

## 1. Окислительно-восстановительные реакции.

Для характеристики состояния элементов в соединениях существует понятие степени окисления. Под степенью окисления (с.о.) понимают мнимый заряд атома в соединении, который вычисляется, исходя из предположения, что соединение состоит из ионов.

Окислительно-восстановительные реакции (ОВР) – это реакции, которые протекают с изменением степени окисления элементов и сопровождаются перемещением электронов от одних частиц к другим. К окислительно-восстановительным можно отнести электрохимические реакции (реакции с раздельным протеканием процессов окисления и восстановления). Ввиду некоторых особенностей электрохимические реакции выделяются в особый класс процессов.

Процесс окисления состоит в отдаче электронов атомом, молекулой или ионом; процесс восстановления состоит в присоединении электронов атомом, молекулой или ионом. Частицы (атомы, молекулы или ионы), присоединяющие электроны, называют окислителями. Частицы (атомы, молекулы или ионы), отдающие электроны, называют восстановителями. В окислительно-восстановительных реакциях окислитель восстанавливается, а восстановитель окисляется.

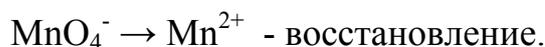
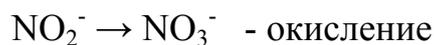
Подбор коэффициентов в уравнениях ОВР осуществляется двумя методами: методом электронного баланса и электронно-ионным методом (по иному называемым методом электронно-ионных уравнений). Метод электронного баланса применяется при протекании ОВР без участия воды, как растворителя. Метод электронно-ионных уравнений наиболее широко применяется при протекании ОВР в водных растворах. Уравнивание ОВР посредством данного метода разбирается на нижеследующих примерах.

**Пример 1.** Составить уравнение реакции окисления нитрита натрия перманганатом калия в кислой среде.

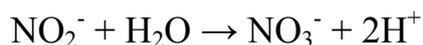
Решение.

Процесс окисления заключается в повышении степени окисления

атомов, следовательно, нитрит-ион ( $N^{+3}$ ) окисляется в нитрат-ион ( $N^{+5}$ ). Для перманганат-иона ( $Mn^{+7}$ ) в кислом растворе протекает процесс восстановления до  $Mn^{+2}$ :



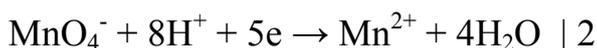
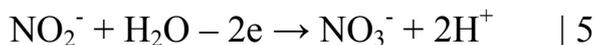
Уравнивание выбранных полуреакций по количеству атомов в кислой среде производится при помощи ионов водорода и молекул воды:



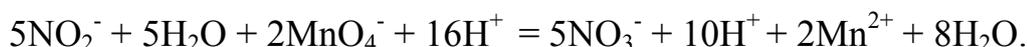
Исходя из суммарных зарядов в левых и правых частях полуреакций, производится подсчёт электронов, участвующих в каждой полуреакции:



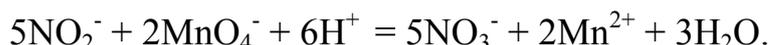
Принцип сохранения электрического заряда предполагает, что количество электронов, отданных в полуреакции окисления, должно быть равным количеству электронов, полученных в полуреакции восстановления. Коэффициенты к полуреакциям, исходя из подсчитанного количества электронов в каждой полуреакции, расставляются крест накрест:



После умножения полуреакций на выбранные коэффициенты складываются между собой их правые и левые части:



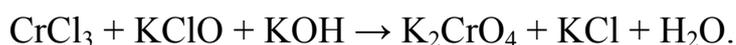
При необходимости производится сокращение подобных слагаемых, в результате чего получается сокращённое ионное уравнение реакции:



На его основе записывается молекулярное уравнение:

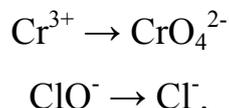


**Пример 2.** Уравнять окислительно-восстановительную реакцию методом электронно-ионных уравнений:

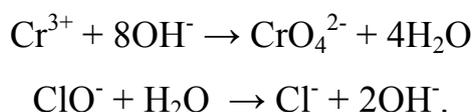


Решение.

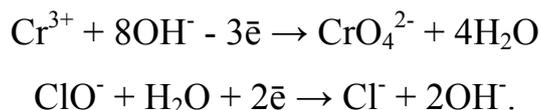
В заданном уравнении определяем элементы, которые изменяют свои степени окисления, и в полуреакциях записываем их в составе тех частиц, в виде которых они существуют в растворе:



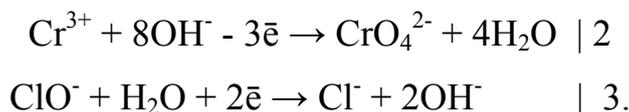
В щелочной среде уравнивание полуреакций по атомам производим при помощи гидроксильных ионов и молекул воды. При этом молекулы воды подставляются в те части полуреакций, где уже имеется избыток кислорода:



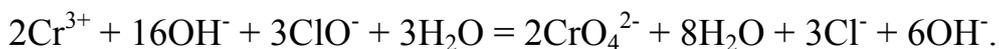
Исходя из суммарных зарядов в левых и правых частях полуреакций, производим подсчёт электронов, участвующих в каждой полуреакции:



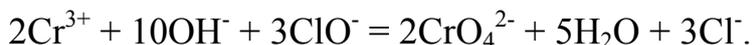
На основе подсчитанного количества электронов в каждой полуреакции расставляем крест накрест коэффициенты к полуреакциям:



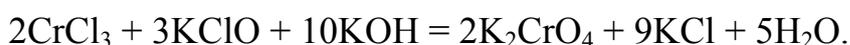
Умножаем полуреакции на полученные коэффициенты, после чего складываем их левые и правые части:



Сокращаем подобные слагаемые:



Из полученного сокращённого ионного уравнения подставляем коэффициенты в молекулярное уравнение:



## 2. Электродный потенциал.

### Электродвижущая сила гальванического элемента

При погружении металла в водный раствор соли, содержащий одноименные с ним катионы, на его поверхности под воздействием компонентов раствора начинают протекать два взаимнопротивоположных процесса: переход с поверхности металла металлических ионов в раствор и осаждение на эту же поверхность катионов из раствора в виде атомов. Спустя некоторое время у поверхности металла устанавливается равновесие этих процессов:  $Me \leftrightarrow Me^{n+} + n\bar{e}$ . Вследствие этого на границе металл - раствор возникает двойной электрический слой, при этом поверхность металла приобретает отрицательный заряд, а примыкающая к нему область раствора положительный заряд. Разделение зарядов влечёт за собой возникновение потенциала. Потенциал, устанавливающийся в таких условиях, носит название равновесного электродного потенциала.

Этот потенциал возможно измерить, если составить гальванический элемент из стандартного водородного электрода и данного металлического электрода. Потенциал стандартного водородного электрода при всякой температуре принят равным нулю и является точкой отсчёта для измерения потенциалов огромного количества полуреакций. Стандартный водородный электрод состоит из губчатой платины, помещённой в сосуд с раствором кислоты, через который пропускается водород. При этом активность ионов водорода в растворе равна 1 моль/л, а давление водорода составляет 1 атм. Относительно водородного электрода измерено большое количество стандартных потенциалов  $\varphi^0$  различных электродов (полуреакций). Обычно эти измерения производятся при стандартных условиях. Данные таких измерений приводятся в справочной литературе в виде стандартных потенциалов полуреакций восстановления.

Если все металлы расположить в порядке возрастания стандартного электродного потенциала полуреакции  $Me^{n+} + n\bar{e} = Me$ , то получим ряд напряжения или ряд активности металлов. В данном ряду электрод  $Li^+/Li$

обладает самым отрицательным, а электрод  $\text{Au}^{3+}/\text{Au}$  самым положительным потенциалами. Все металлы с отрицательными значениями потенциала способны растворяться в растворах кислот с выделением водорода. И в тоже время каждый металл, обладающий меньшим потенциалом, способен восстанавливать катионы металла, имеющего больший потенциал.

Зависимость потенциала всякого электрода от влияющих на него факторов выражается уравнением Нернста:

$$\varphi = \varphi^0 + (2,3RT / zF) \cdot \lg(\text{Па}_{\text{окисл}} / (\text{Па}_{\text{восст}})),$$

где  $\varphi^0$  – стандартный электродный потенциал полуреакции,  $\text{Па}_{\text{окисл}}$  – произведение активностей окисленной формы и всех ионов и молекул, записываемых в уравнении вместе с этой формой в левой части полуреакции;  $\text{Па}_{\text{восст}}$  – произведение активностей восстановленной формы и всех ионов и молекул, записываемых в уравнении вместе с этой формой в правой части полуреакции;  $z$  – количество электронов, участвующих в полуреакции;  $F$  – постоянная Фарадея (96485 Кл/моль).

Данное уравнение нередко записывается в форме:

$$\varphi = \varphi^0 + (2,3RT / zF) \cdot \lg([\text{Ox}]/[\text{Red}]).$$

Если окислительно–восстановительную реакцию осуществить так, чтобы процессы окисления и восстановления были пространственно разделены, и создать возможность перехода электронов от восстановителя к окислителю по внешней цепи, то во внешней цепи возникнет направленное перемещение электронов – электрический ток. Устройства, в которых происходит превращение химической энергии в электрическую, называются химическими источниками тока (ХИТ) или гальваническими элементами (рис.1).

В состав гальванического элемента входят два электрода (два полуэлемента). Электрод, на котором происходит процесс окисления, называется анодом; электрод, на котором осуществляется восстановление – катодом.

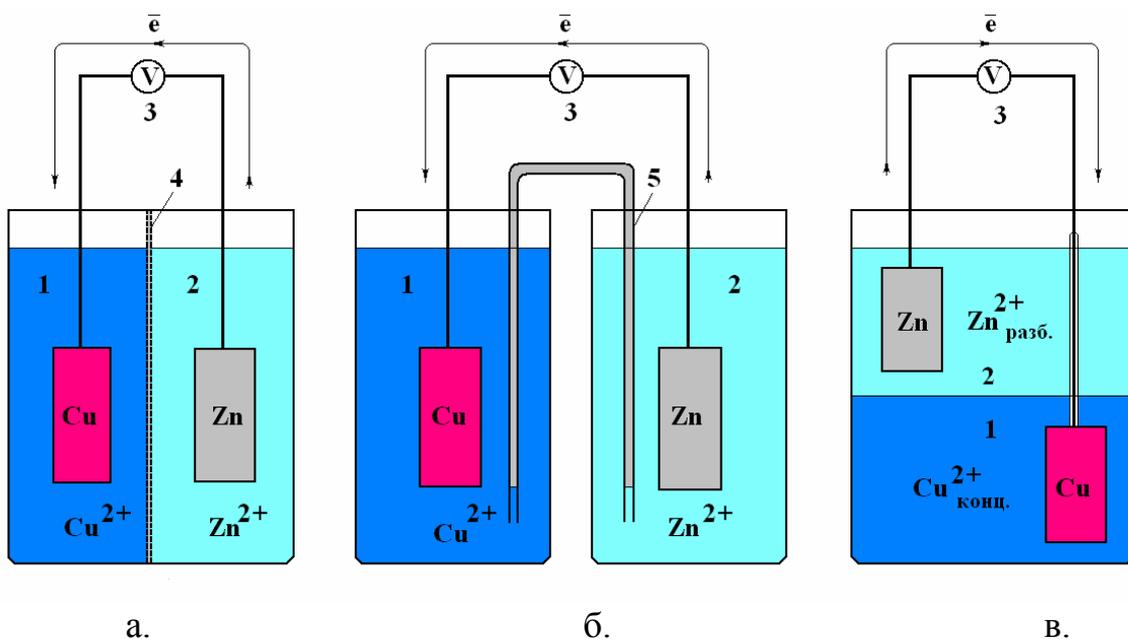


Рис.1 Варианты выполнения гальванического элемента Даниэля-Якоби:

1 – медный электрод в растворе сульфата меди, 2 – цинковый электрод в растворе сульфата цинка, 3 – измерительный прибор, 4 – полупроницаемая перегородка, 5 – солевой электропроводящий мостик.

Максимальное напряжение гальванического элемента, отвечающее обратимому протеканию происходящей в нем реакции, называется электродвижущей силой E (ЭДС) элемента и определяется по формуле:

$$E = \varphi_{\text{окисл.}} - \varphi_{\text{восст.}} \text{ или } E = \varphi_{\text{катода}} - \varphi_{\text{анода}}$$

Следует отметить, что далеко не всегда при работе гальванического элемента металлический электрод разрушается или на нём происходит осаждение металла. Электроды, выполненные из платины, золота, графита, являются инертными и на их поверхности протекают процессы окисления или восстановления частиц (молекул или ионов), входящих в состав раствора, то есть такие электроды служат в качестве поставщиков или коллекторов электронов. В качестве примера может быть приведён уже упоминавшийся водородный электрод.

Гальванический элемент может быть составлен не только из различных, но и из одинаковых электродов, погруженных в растворы одного и того же электролита, но с различной концентрацией. Такой элемент называется концентрационным гальваническим элементом.

**Пример 3.** Определить стандартную ЭДС гальванического элемента, состоящего из цинкового электрода в растворе сульфата цинка, и медного электрода, погружённого в раствор сульфата меди. Написать схему гальванического элемента.

Решение.

Гальванический элемент, составленный из этих электродов, имеет исторически сложившееся название элемента Даниэля-Якоби. Обратимся к справочным данным по стандартным потенциалам восстановления этих полуэлементов:  $\varphi^0(\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}) = -0.763\text{В}$ ,  $\varphi^0(\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}) = 0.337\text{В}$ .

При подстановке в формулу для расчета ЭДС следует уяснить, что в качестве окислителя всегда выступает электрод с более высоким значением потенциала (т.е. медный электрод), а в качестве восстановителя – электрод с меньшим значением потенциала (т.е. цинковый электрод).

$$E^0 = \varphi^0_{\text{окисл.}} - \varphi^0_{\text{восст.}} = 0,337 - (-0,763) = 1,100\text{В.}$$

Схема такого элемента имеет вид:  $\text{Zn}|\text{Zn}^{2+}(1\text{М}) \parallel \text{Cu}^{2+}(1\text{М})|\text{Cu}$ .

Двойные вертикальные чёрточки обозначают наличие полупроницаемой перегородки или солевого мостика. Одинарная черточка обозначает границу раздела фаз, причём слева от неё записывается исходная форма реагента, а справа продукт работы гальванического элемента. В круглых скобках указана активность соответствующего водного иона.

**Пример 4.** Возможно ли в качестве окислителя свободных галогенов в кислой среде использовать  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  при стандартных условиях?

Решение.

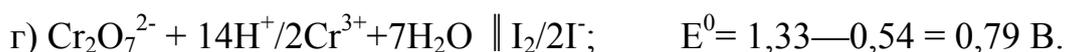
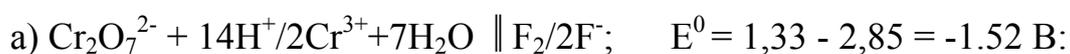
Воспользуемся справочными данными по стандартным восстановительным потенциалам галогенов и бихромат-иона в кислом растворе:



Стандартный восстановительный потенциал полуреакции:



Для ответа на поставленный вопрос следует определить ЭДС составленных попарно полуреакций ( $E^0 = \varphi^0_{\text{окисл.}} - \varphi^0_{\text{восст.}}$ ):



Протекание реакция возможно, если  $E^0 > 0$  ( $E > 0$ ). На основе рассчитанных ЭДС можно сказать, что бихромат калия  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  может быть использован в качестве окислителя только для брома и йода.

**Пример 5.** Медная пластинка массой 10.0 г была погружена в раствор нитрата серебра, затем промыта водой и высушена. Масса ее оказалась равной 11.0 г. Сколько серебра из раствора выделилось на пластинке?

Решение.

Для решения этой задачи необходимо знать стандартные электродные потенциалы данных металлов, а точнее их относительное положение в электрохимическом ряду напряжений:



На основании этих данных следует, что стандартный электродный потенциал меди имеет меньшее значение, следовательно, медь выступает в качестве восстановителя для ионов серебра:  $\text{Cu} + 2\text{AgNO}_3 = 2\text{Ag} + \text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ .

Для того чтобы вычислить количество серебра, выделившегося на медной пластинке, надо учесть, что медная пластинка в этой реакции и сама растворяется, теряя в массе.

Обозначим количество растворившейся меди через  $X$  г, тогда масса медной пластинки с учетом её растворения будет  $(10 - X)$  г, масса выделившегося серебра:  $11 - (10 - X) = (1 + X)$  г. На основе уравнения реакции составляем

пропорцию и находим массу выделившегося серебра:

$$\begin{aligned} 64.0 \text{ г Cu} & \text{ — } 2 \cdot 108 \text{ г Ag} \\ \underline{X \text{ — } (1 + X)} \\ 216X & = 64 + 64X, \quad 152X = 64, \quad X = 0,42 \text{ г.} \end{aligned}$$

Таким образом, в ходе реакции растворилось 0.42 г меди и выделилось  $1.0 + 0.42 = 1.42$  г серебра.

**Пример 6.** Определите ЭДС и направление протекания тока во внешней цепи при работе гальванического элемента, составленного из полуэлементов: Pt|Cl<sub>2</sub>(1атм.)|Cl<sup>-</sup>(1M), Pt|Cl<sub>2</sub>(1атм.)|Cl<sup>-</sup>(0.01M).

Решение.

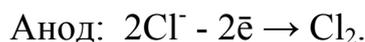
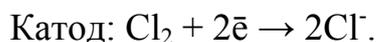
Запись полуэлементов в таком виде означает, что платиновые электроды помещены в растворы с активностями хлоридных ионов 1 и 0.01 моль/л, через которые пропускается газообразный хлор под давлением в 1 атм.

Уравнение Нернста для хлорных электродов после соответствующих подстановок имеет вид:  $\varphi = \varphi^0 + 0.059 \cdot \lg[\text{Cl}^-]$ . В справочных данных находим стандартный потенциал полуреакции:  $\text{Cl}_2 + 2\bar{e} \rightarrow 2\text{Cl}^-$ ,  $\varphi^0 = 1.358\text{В}$ .

Рассчитываем потенциалы каждого полуэлемента:

$$\varphi_1 = 1.358 + 0.059 \cdot \lg[1.0] = 1.358\text{В}, \quad \varphi_2 = 1.358 + 0.059 \cdot \lg[0.01] = 1.240\text{В}.$$

На электроде с бóльшим потенциалом будет протекать процесс восстановления, этот электрод является катодом. На электроде с меньшим потенциалом протекает процесс окисления, и он выступает в роли анода.



$$E = \varphi_{\text{катода}} - \varphi_{\text{анода}} = 1.358 - 1.240 = 0.118\text{В}.$$

Ток во внешней цепи гальванического элемента протекает от анода к катоду, то есть от электрода, погружённого в раствор с меньшей концентрацией, к электроду в растворе с большей концентрацией.

### 3. Электролиз. Законы Фарадея.

Электролиз – это совокупность вынужденных химических процессов, происходящих под действием электрического тока, пропускаемого через электрохимическую систему. При электролизе химические реакции осуществляются за счёт энергии электрического тока, подводимого извне.

Так же, как и в гальваническом элементе, в электролизёре электрод, на котором происходит процесс окисления, называется анодом, а электрод, на котором идёт процесс восстановления, катодом. Но в отличие от гальванического элемента в электролизёре катод заряжен отрицательно, а анод – положительно.

Количественно процесс электролиза описывается двумя законами, установленными Фарадеем:

- масса преобразующегося при электролизе вещества пропорциональна количеству электричества, пропущенного через электрохимическую систему;
- при электролизе различных химических соединений равные количества электричества приводят к электрохимическому превращению эквивалентных количеств веществ.

Оба закона описываются одной формулой:  $m = \frac{M_{\text{экв}}(B)}{F} I \tau$ ,

где  $M_{\text{экв}}(B)$  - молярная масса электрохимического эквивалента, определяемая как  $M_{\text{экв}}(B) = M(B) / z$ , ( $z$  - количество электронов, участвующих в электродном процессе преобразования одного моль вещества),  $I$  – сила тока, прошедшего через электролизёр,  $\tau$  – время электролиза, выражаемое в секундах,  $F = 96485$  Кл/моль – постоянная Фарадея.

Конечные результаты, получаемые при проведении электролиза, зависят от относительных соотношений электродных потенциалов соответствующих электрохимических систем. Помимо ионов растворённых солей, в растворе присутствуют молекулы воды и продукты её диссоциации, которые также могут непосредственно окисляться и восстанавливаться в процессе электролиза. Таким образом, из нескольких предположительно возможных

процессов всегда протекает тот, осуществление которого требует минимума энергии. Иными словами, на катоде восстанавливаются окисленные формы, имеющие наибольший потенциал, а на аноде окисляются восстановленные формы с наименьшим потенциалом.

Как было указано в предыдущем разделе, анод, в зависимости от выбранного материала, может, как окисляться, так и оставаться неизменным при электролизе. В соответствии с этим различают электролиз с активным (разрушающимся) и инертным анодом.

Процессы электролиза широко используются в металлургии при производстве и рафинировании (очистке) металлов, в химической промышленности при получении фтора, хлора, кислорода, многих окислителей. Методами гальваностегии на поверхность металлов и сплавов наносятся различные защитные и декоративные покрытия. Методы гальванопластики позволяют получать металлические матрицы с рельефных предметов с целью их точного копирования. Электрохимические процессы находят применение при травлении, полировании, оксидировании металлов.

На практике 100% выделения (преобразования) вещества, как правило, не бывает, и поэтому эффективность процесса электролиза определяется коэффициентом выхода по току:  $\eta = \frac{m_{\text{факт}}(B)}{m_{\text{теор}}(B)} (\times 100\%)$ .

**Пример 7.** Какая масса меди выделится на катоде при электролизе раствора  $\text{CuSO}_4$  в течение 1 часа при силе тока 4А?

Решение.

Согласно законам Фарадея:  $m = M_{\text{экв}} I \tau / F$ ,

где  $m$  - масса вещества, окисленного или восстановленного на электроде;  
 $M_{\text{экв}}$  - молярная масса эквивалентов вещества;  $I$  - сила тока, А;  $\tau$  - продолжительность электролиза, с.

Молярная масса эквивалентов меди в  $\text{CuSO}_4$  равна  $63.54/2=31.77$  г/моль. Подставив в формулу значения  $M_{\text{экв}} = 31.77$  г/моль,  $I = 4$  А,  $\tau = 60 \cdot 60 = 3600$  с, получим:

$$M = 31.77 \cdot 4 \cdot 36000 / 96485 = 4.74 \text{ г.}$$

**Пример 8.** При электролизе раствора в течение 1 ч 40 мин 25 сек на катоде выделилось 1.4 л водорода (н. у.). Определить силу тока, прошедшего через раствор.

Решение.

Учитывая то, что измеренный при нормальных условиях объём выделяющегося газа прямо пропорционально связан с его массой, запишем закон Фарадея в ином виде:

$$V(H_2) = V_{M.экв.}(H_2)I\tau/F.$$

Выразим силу тока:  $I = V(H_2) \cdot F / (V_{M.экв.}(H_2) \cdot \tau)$ .

Молярный объём эквивалента водорода при нормальных условиях равен половине молярного объема  $22.4/2=11.2$  л.

Подставив в приведенную формулу значения  $V(H_2) = 1.4$ л,  $V_{M.экв.}(H_2) = 11.2$ л,  $\tau = 6025$ с (1ч. 40мин. 25с.), находим:

$$I = 1.4 \cdot 96485 / (11.2 \cdot 6025) = 2 \text{ А.}$$

**Пример 9.** Какая масса гидроксида калия образовалась у катода при электролизе раствора  $K_2SO_4$ , если на аноде выделилось 11.2 л кислорода (н.у.)?

Решение.

Суть протекающих на электродах процессов следующая:



Протекающая в процессе электролиза реакция подчиняется закону эквивалентов:  $\frac{V(O_2)}{V_{M.экв.}(O_2)} = \frac{m(KOH)}{M_{экв.}(KOH)}$ .

Молярный объём эквивалента кислорода (н.у.) составляет  $22.4/4 = 5.6$  л. Молярная масса эквивалентов КОН равна 56.11 г/моль. Из записанной формулы выразим массу КОН:  $m(KOH) = (11.2 \cdot 56.11)/5.6 = 112.22$  г.

#### 4. Электрохимическая коррозия металлов. Методы защиты от коррозии

Металлические материалы в контакте с окружающей средой с той или иной скоростью подвергаются разрушению. Электрохимической коррозии металлы подвергаются в электропроводных средах (кислых влажных почвах, морской воде, влажном воздухе, под действием блуждающих токов и т.д.). Суть этого явления заключается в том, что при контакте двух разнородных металлов или микронеоднородных участков металла (сплава) во влажной среде образуется гальванический элемент (гальваническая пара). Отличие такого образующегося гальванического элемента от рассмотренных выше в том, что у него отсутствует внешняя электрическая цепь, и электроны, ответственные за процессы окисления-восстановления, перетекают от одного металлического участка к другому внутри объёма металлов.

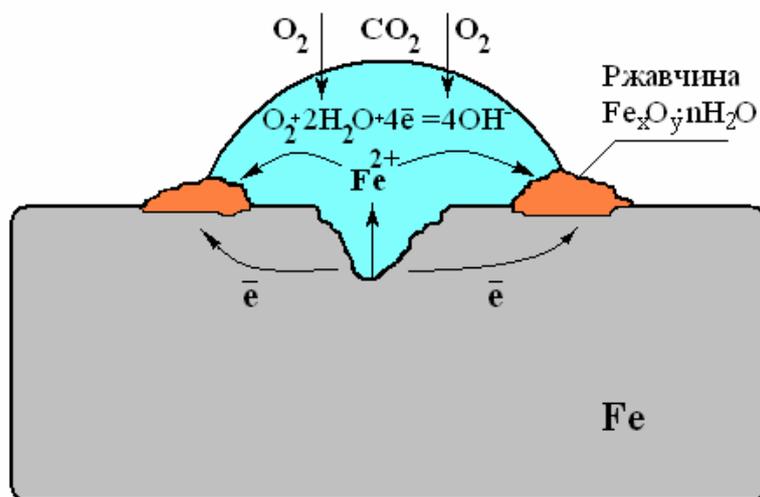


Рис. 2. Коррозия железа под каплей воды в контакте с воздухом (атмосферная коррозия).

Неоднородности металла заключаются в наличии на его поверхности несплошных оксидных плёнок, карбидных, нитридных, углеродных, сернистых включений, эвтектических зёрен, выходящих к поверхности, неравномерной механической деформации.

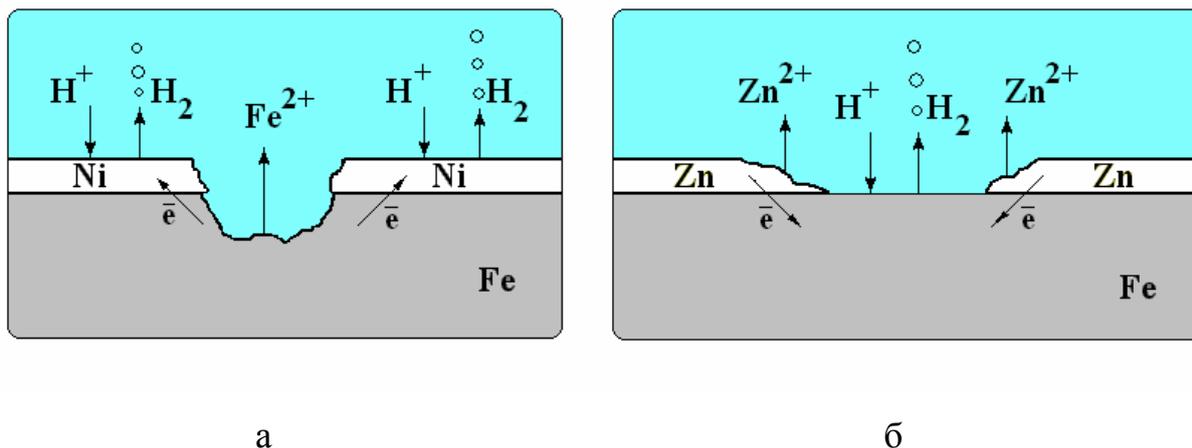


Рис. 3. Схемы коррозии в кислой среде в случае катодного (а) и анодного (б) покрытий.

Коррозионные процессы приводят к значительным экономическим потерям, как за счёт поломки механизмов и технологического оборудования, техногенного вреда окружающей среды, так и безвозвратной потери металла. По оценочным данным потери железа в виде ржавчины составляют 10-15% ежегодного производства стали.

Различают несколько способов борьбы с коррозией:

- Нанесение защитных покрытий. Такие покрытия представляют собой металлические, оксидные, эмалевые, лакокрасочные, полимерные плёнки, наносимые на поверхность металла;
- Электрохимическая защита. Может осуществляться принудительным электрическим соединением защищаемой конструкции с металлом, имеющим более отрицательный электродный потенциал (протекторная защита), а также внешней (катодной и анодной) поляризацией (за счёт приложенного к конструкции внешнего электрического потенциала);
- Изменение свойств коррозионной среды. Для этой цели используют специальные методы водоподготовки, а также применяют ингибиторы – вещества, тормозящие коррозионные процессы при их адсорбции на корродирующей поверхности;

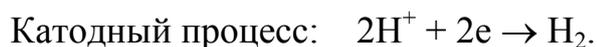
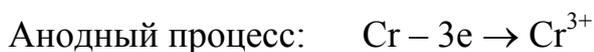
- Применение легированных сплавов. Легирование сплавов заключается во введении в расплавленный металл добавок (хром, никель, вольфрам и др.), повышающих пассивность сплава.

**Пример 10.** Хром находится в контакте с медью. Какой из металлов будет окисляться при коррозии, если пара металлов находится в кислой среде (HCl). Приведите схему образующегося при этом гальванического элемента.

Решение.

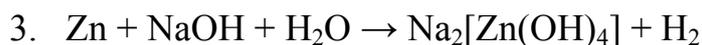
Сравнивая величины стандартных электродных потенциалов, видим, что хром является более активным металлом ( $\varphi^0(\text{Cr}/\text{Cr}^{3+}) = -0,744\text{В}$ ) и в образованной гальванической паре он выступает анодом. Медь является катодом ( $\varphi^0(\text{Cu}/\text{Cu}^{2+}) = 0,337\text{В}$ ). Следовательно, хромовый анод, подвергаясь процессу окисления, растворяется, а на медном катоде в кислой среде протекает восстановление ионов водорода.

Схема работающего при коррозии гальванического элемента:



### **Контрольные задания.**

1-20. Методом электронно-ионного баланса уравнивать окислительно-восстановительную реакцию. Указать окислитель и восстановитель.



8.  $\text{MnO}_2 + \text{NaBr} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Br}_2 + \text{MnSO}_4 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
9.  $\text{H}_2\text{SO}_3 + \text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HCl}$
10.  $\text{H}_2\text{S} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{S} + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
11.  $\text{Cr}(\text{OH})_3 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
12.  $\text{KMnO}_4 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$
13.  $\text{H}_2\text{MnO}_4 \rightarrow \text{MnO}_2 + \text{HMnO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
14.  $\text{S} + \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{S} + \text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
15.  $\text{AsH}_3 + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{H}_3\text{AsO}_4 + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
16.  $\text{H}_2\text{S} + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{S} + \text{H}_2\text{O}$
17.  $\text{KBrO} + \text{MnCl}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{KBr} + \text{MnO}_2 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$
18.  $\text{NaCl} + \text{MnO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{NaHSO}_4 + \text{MnSO}_4 + \text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O}$
19.  $\text{KMnO}_4 + \text{KNO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MnSO}_4 + \text{KNO}_3 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
20.  $\text{KI} + \text{KNO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{I}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$
21.  $\text{I}_2 + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaI} + \text{NaIO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
22.  $\text{Si} + \text{NaOH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{H}_2$
23.  $\text{KMnO}_4 + \text{MnSO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MnO}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$
24.  $\text{SnCl}_2 + \text{HCl} + \text{FeCl}_3 \rightarrow \text{H}_2[\text{SnCl}_6] + \text{FeCl}_2$
25.  $\text{KI} + \text{KMnO}_4 + \text{KOH} \rightarrow \text{KIO}_3 + \text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{H}_2\text{O}$

26. Как строится ряд стандартных электродных потенциалов металлов?

Как изменится масса цинковой пластинки при взаимодействии её с растворами

а)  $\text{CuSO}_4$ , б)  $\text{MgSO}_4$ , в)  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ? Почему?

27. При какой концентрации ионов  $\text{Zn}^{2+}$  потенциал цинкового электрода на 0,015В меньше его стандартного электродного потенциала?

28. Марганцевый электрод в растворе его соли имеет потенциал  $-1,23$  В. Вычислите концентрацию ионов  $\text{Mn}^{2+}$  в растворе.

29. Составьте схему гальванического элемента, в основе которого лежит реакция, протекающая по уравнению:  $\text{Ni} + \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 = \text{Ni}(\text{NO}_3)_2 + \text{Pb}$ .

Напишите электронные уравнения для анодного и катодного

процессов. Вычислите ЭДС этого элемента, если  $[Ni^{2+}] = 0,01$  моль/л, а  $[Pb^{2+}] = 0,0001$  моль/л.

30. Объясните, почему серебро не вытесняет водород из разбавленных кислот? Однако, если к серебру, опущенному в раствор кислоты, прикоснуться цинковой палочкой, то на нём начинается бурное выделение водорода. Объясните это явление. Составьте уравнение происходящей реакции.

31. Какой гальванический элемент называют концентрационным? Составьте схему, напишите электронные уравнения электродных процессов и вычислите ЭДС гальванического элемента, состоящего из двух серебряных электродов, один из которых опущен в 0,01н раствор  $AgNO_3$ , а другой в 0,1н раствор  $AgNO_3$ .

32. Составьте схему, напишите электронные уравнения электродных процессов и вычислите ЭДС гальванического элемента, состоящего из свинцовой и магниевой пластин, опущенных в растворы солей с концентрацией  $[Pb^{2+}] = [Mg^{2+}] = 0,01$  моль/л. Изменится ли ЭДС этого элемента, если концентрацию каждого иона увеличить в одинаковое число раз?

33. Чему равен потенциал водородного электрода при: а)  $pH=10$ ; б)  $pH=3$ ?

34. Вычислите ЭДС концентрационного элемента, состоящего из двух водородных электродов, опущенных в растворы кислот с  $pH=2$  и  $pH=4$ .

35. Составьте схему гальванического элемента, состоящего из пластин цинка и железа, погруженных в растворы их солей. Напишите электронные уравнения процессов, протекающих на аноде и на катоде. Какой концентрации надо было бы взять ионы железа (моль/л), чтобы ЭДС элемента стала равной нулю, если  $[Zn^{2+}] = 0,001$  моль/л?

36. Потенциал серебряного электрода в растворе  $AgNO_3$  составил 95% от значения его стандартного электродного потенциала. Чему равна концентрация ионов  $Ag^+$  (в моль/л)?

37. Если пластинку из чистого цинка опустить в разбавленную

кислоту, то начинающееся выделение водорода вскоре почти прекращается. Однако при прикосновении к цинку медной палочкой, на последней начинается бурное выделение водорода. Дайте этому объяснение, составив электронные уравнения анодного и катодного процессов. Напишите уравнения протекающей химической реакции.

38. Составьте схему, напишите электронные уравнения электродных процессов и вычислите ЭДС медно-кадмиевого гальванического элемента, в котором  $[Cd^{2+}] = 0,8$  моль/л, а  $[Cu^{2+}] = 0,01$  моль/л.

39. При какой концентрации ионов  $Cu^{2+}$  (моль/л) значение потенциала медного электрода становится равным стандартному потенциалу водородного электрода?

40. При каком условии будет работать гальванический элемент, электроды которого сделаны из одного и того же металла? Составьте схему, напишите электронные уравнения электродных процессов и вычислите ЭДС гальванического элемента, в котором один никелевый электрод находится в 0,001 М растворе, а другой такой же электрод - в 0,01 М растворе сульфата никеля.

41. Составьте схему, напишите электронные уравнения электродных процессов и вычислите ЭДС гальванического элемента, состоящего из пластин кадмия и магния, опущенных в растворы своих солей с концентрацией  $[Mg^{2+}] = [Cd^{2+}] = 1$  моль/л. Изменится ли значение ЭДС, если концентрацию каждого из ионов понизить до 0,01 моль/л?

42. Медь не вытесняет водород из разбавленных кислот. Почему? Однако если к медной пластинке, опущенной в кислоту, прикоснуться цинковой, то на меди начинается бурное выделение водорода. Дайте этому объяснение, составив электронные уравнения анодного и катодного процессов. Напишите уравнение протекающей химической реакции.

43. В два сосуда с раствором медного купороса голубого цвета поместили в первый цинковую пластинку, а во второй серебряную. В каком

сосуде цвет раствора постепенно пропадает? Почему? Составьте электронное и молекулярное уравнения соответствующей реакции.

44. Составьте схемы двух гальванических элементов, составленных из стандартных электродов  $\text{Al}^{3+}/\text{Al}$  и  $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}$  в паре со стандартным водородным электродом. Чем, катодом или анодом, являются электроды из  $\text{Al}$  и  $\text{Cu}$  в этих гальванических элементах?

45. Магниевый электрод в растворе его соли имеет потенциал  $-2,41\text{В}$ . Вычислите концентрацию ионов  $\text{Mg}^{2+}$  в растворе.

46. По предложенному уравнению химической реакции составить схему гальванического элемента и записать полуреакции, протекающие на электродах:  $\text{Zn} + 2\text{Fe}^{2+} = \text{Zn}^{2+} + 2\text{Fe}^{2+}$ . Рассчитать стандартную ЭДС элемента.

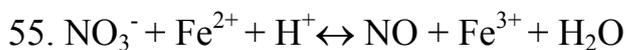
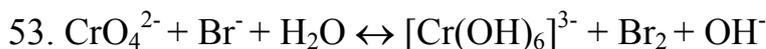
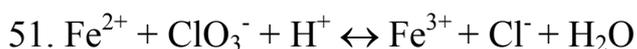
47. На основе приведённой схемы рассчитать ЭДС гальванического элемента при  $25^\circ\text{C}$ :  $\text{Zn}|\text{Zn}^{2+}(5.11 \cdot 10^{-4}\text{ моль/л}) || \text{Cd}^{2+}(0.2\text{ моль/л})|\text{Cd}$ .

48. По предложенному уравнению химической реакции составить схему гальванического элемента и записать полуреакции, протекающие на электродах:  $2\text{Ag}^+ + \text{H}_2 = 2\text{Ag} + 2\text{H}^+$ . Рассчитать стандартную ЭДС элемента.

49. На основе приведённой схемы рассчитать ЭДС гальванического элемента при  $25^\circ\text{C}$ :  $\text{Zn}|\text{ZnCl}_2(1\text{ моль/л}) || \text{Pt}, \text{Cl}_2(1\text{ атм})|\text{Cl}^-$ .

50. Для какой пары электродов  $\text{Ag-Fe}$  или  $\text{Ag-Cu}$  следует ожидать большего значения ЭДС и почему?

51-75. Исходя из значений стандартных электродных потенциалов, выяснить в каком направлении протекает реакция при стандартных условиях:



57.  $\text{Fe}^{3+} + \text{I}^- + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{IO}_3^- + \text{H}^+$
58.  $\text{SO}_4^{2-} + \text{Cr}^{3+} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{SO}_3^{2-} + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{H}^+$
59.  $\text{HAsO}_2 + \text{I}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_3\text{AsO}_4 + \text{I}^- + \text{H}^+$
60.  $\text{MnO}_2 + \text{I}^- + \text{H}^+ \leftrightarrow \text{Mn}^{2+} + \text{I}_2 + \text{H}_2\text{O}$
61.  $\text{MnO}_4^- + \text{SO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{MnO}_2 + \text{SO}_4^{2-} + \text{OH}^-$
62.  $\text{Cr}^{3+} + \text{Fe}^{3+} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{Fe}^{2+} + \text{H}^+$
63.  $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}^+ + \text{Mn}^{2+} \leftrightarrow \text{MnO}_4^- + \text{H}_2\text{O}$
64.  $\text{ClO}_3^- + \text{MnO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Cl}_2 + \text{MnO}_4^- + \text{H}^+$
65.  $[\text{Sn}(\text{OH})_6]^{2-} \leftrightarrow \text{Sn} + \text{OH}^- + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$
66.  $\text{Pb}^{2+} + \text{Cl}_2 + \text{OH}^- \leftrightarrow \text{PbO}_2 + \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$
67.  $\text{V}^{3+} + \text{OH}^- + \text{H}_2 \leftrightarrow \text{V}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$
68.  $\text{PbO}_2 + \text{Mn}^{2+} + \text{H}^+ \leftrightarrow \text{Pb}^{2+} + \text{MnO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
69.  $\text{Cr}(\text{OH})_3 + \text{S} + \text{OH}^- \leftrightarrow \text{CrO}_4^{2-} + \text{S}^{2-} + \text{H}_2\text{O}$
70.  $\text{FeO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O} + \text{Br}^- \leftrightarrow \text{FeO}(\text{OH}) + \text{OH}^- + \text{Br}_2$
71.  $\text{Co}^{3+} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{O}_2 + \text{Co}^{2+} + \text{H}^+$
72.  $\text{FeO}_4^{2-} + \text{H}^+ \leftrightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$
73.  $\text{Ni}(\text{OH})_3 + \text{H}^+ \leftrightarrow \text{Ni}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$
74.  $\text{BrO}^- + \text{Mn}^{2+} + \text{OH}^- \leftrightarrow \text{Br}^- + \text{MnO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
75.  $\text{IO}_3^- + \text{MnO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{I}^- + \text{OH}^- + \text{MnO}_4^-$

76. Электролиз раствора  $\text{K}_2\text{SO}_4$  проводился при силе тока 5А в течение 3 ч. Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на электродах. Какая масса воды при этом разложилась и чему равен объём газов (н. у.), выделившихся на катоде, аноде?

77. При электролизе раствора  $\text{CuSO}_4$  на аноде выделилось 168 см<sup>3</sup> (н. у.) газа. Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на электродах, и вычислите, какая масса меди выделилась на катоде.

78. Электролиз раствора нитрата серебра проводился при силе тока 2А в течение 4 ч. Составьте электронные уравнения процессов,

происходящих на электродах. Какая масса серебра выделилась на катоде, и каков объем газа (н. у.), выделившегося на аноде?

79. При электролизе соли некоторого металла в течение 1,5 ч при силе тока 1,8А на катоде выделилось 1,75 г этого металла. Вычислите молярную массу эквивалентов металла.

80. Электролиз раствора сульфата цинка проводили в течение 5 ч, в результате чего выделилось 6 л кислорода (н. у.). Составьте уравнения электродных процессов и определите силу тока.

80. Электролиз раствора сульфата некоторого металла проводили при силе тока 6А в течение 45 мин, в результате чего на катоде выделилось 5,49 г металла. Вычислите молярную массу эквивалентов металла.

81. Электролиз раствора  $\text{CuSO}_4$  проводили в течение 15 мин при силе тока 2,5А. Выделилось 0,72 г меди. Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на электродах в случае медного и угольного анода. Вычислите выход по току.

82. Насколько уменьшится масса серебряного анода, если электролиз раствора  $\text{AgNO}_3$  проводить при силе тока 2А в течение 38 мин 20 с?

83. Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на графитовых электродах при электролизе расплавов и водных растворов  $\text{NaCl}$  и  $\text{KOH}$ . Сколько литров (н. у.) газа выделится на аноде при электролизе раствора гидроксида калия, если электролиз проводить в течение 30 мин при силе тока 0,5А?

84. При электролизе растворов  $\text{MgSO}_4$  и  $\text{ZnCl}_2$ , соединенных последовательно с источником тока, на одном из катодов выделилось 0,25 г водорода. Какая масса вещества выделится на другом катоде? на анодах?

85. Электролиз раствора  $\text{CuSO}_4$  с медным анодом проводили в течение 4 ч при силе тока 50А. При этом выделилось 224 г меди. Вычислите выход по току. Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на электродах в случае медного и угольного анода.

86. Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на угольных электродах при электролизе раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Вычислите массу вещества, выделяющегося на катоде, если на аноде выделяется 1,12 л газа (н. у.). Какая масса  $\text{H}_2\text{SO}_4$  образуется при этом возле анода?

87. Электролиз раствора  $\text{NaI}$  проводили при силе тока 6А в течение 2,5 ч. Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на угольных электродах, и вычислите массу вещества, выделившегося на катоде и аноде.

88. При электролизе соли трехвалентного металла при силе тока 1,5А в течение 30 мин на катоде выделилось 1,071 г металла. Вычислите атомную массу металла.

89. При электролизе раствора соли кадмия израсходовано 3434 Кл электричества. Выделилось 2 г кадмия. Чему равна эквивалентная масса металла?

90. Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на графитовых электродах при электролизе раствора  $\text{KBr}$ . Какая масса вещества выделится на катоде и аноде, если электролиз проводить в течение 1 ч 35 мин при силе тока 15А?

91. Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на электродах при электролизе раствора  $\text{KOH}$ . Чему равна сила тока, если в течение 1 ч 15 мин 20 с на аноде выделилось 6,4 газа? Сколько литров газа (н. у.) выделилось при этом на катоде?

92. Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на электродах при электролизе раствора  $\text{KOH}$ . Чему равна сила тока, если в течение 1 ч 15 мин 20 с на аноде выделилось 6,4 газа? Сколько литров газа (н. у.) выделилось при этом на катоде?

93. Электролиз раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  проводили в течение 5 ч при силе тока 7А. Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на электродах. Какая масса воды при этом разложилась и чему равен объем газов (н. у.), выделившихся на катоде и аноде?

94. Какие вещества и в каком количестве будут выделяться на электродах при электролизе расплава  $MgCl_2$  в течение 2,5 часов при токе силой 6А? Составьте схему электролиза.

95. Вычислите молярную массу эквивалента двухвалентного металла и назовите его, если известно, что при электролизе раствора хлорида этого металла в течение 2 часов при токе силой 2,5А выделилось 19,33 г металла. Составьте схему электролиза соли.

96. При электролизе водного раствора  $SnCl_2$  на аноде выделилось 4,48 л хлора (н.у.). Найдите массу выделившегося на катоде олова.

97. Сколько разложится воды при электролизе раствора серной кислоты в течение 1 часа при токе 5А? Записать уравнения процессов, происходящих на графитовых электродах.

98. Вычислить время, необходимое для выделения 3 г Fe из раствора  $Fe_2(SO_4)_3$  при пропускании тока в 10А.

99. Электролиз водного раствора электролита привёл к уменьшению рН раствора. Какой электролит – сульфат никеля или хлорид лития – находился в растворе?

100. При электролизе раствора сульфата хрома(III) током в 2.5А масса катода увеличилась на 0.05 кг. Определить время электролиза и количество пропущенного электричества.

101. Как влияет рН среды на скорость коррозии железа и цинка? Почему? Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов атмосферной коррозии этих металлов.

102. В чем сущность протекторной защиты металлов от коррозии. Какой металл целесообразней выбрать для протекторной защиты от коррозии свинцовой оболочки кабеля: цинк, магний или хром? Почему? Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов атмосферной коррозии. Каков состав продуктов коррозии?

103. Какое покрытие металла называется анодным и какое - катодным? Назовите несколько металлов, которые могут служить для

анодного и катодного покрытия железа. Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов, происходящих при коррозии железа, покрытого медью, во влажном воздухе и кислой среде.

104. Железное изделие покрыли кадмием. Какое это покрытие - анодное или катодное? Почему? Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов коррозии этого изделия при нарушении покрытия во влажном воздухе и растворе соляной кислоты. Какие продукты коррозии образуются в первом и во втором случаях?

105. Какой из металлов является катодом, а какой анодом в гальванической паре  $\text{Al} - \text{Fe}$ . Составьте уравнения электродных процессов, протекающих при коррозии в случае кислородной и водородной деполяризации?

106. Как происходит атмосферная коррозия лужёного (покрытого слоем олова) железа и лужёной меди при нарушении покрытия? Составьте уравнения реакций, протекающих на аноде и катоде.

107. Железное изделие покрыли никелем. Какое это покрытие - анодное или катодное? Почему? Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов коррозии этого изделия при нарушении покрытия во влажном воздухе и в растворе соляной кислоты. Какие продукты коррозии образуются в первом и втором случаях?

108. Железное изделие покрыли свинцом. Какое это покрытие - анодное или катодное? Почему? Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов коррозии этого изделия при нарушении покрытия во влажном воздухе и в растворе соляной кислоты. Какие продукты коррозии образуются в первом и во втором случаях?

109. Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов с кислородной и водородной деполяризацией при коррозии гальванической пары магний - никель. Какие продукты коррозии образуются в первом и во втором случаях?

110. Почему химически чистое железо более стойко против

коррозии, чем техническое железо? Составьте уравнения анодного и катодного процессов, происходящих при коррозии технического железа во влажном воздухе и в кислой среде.

111. В раствор электролита, содержащего растворённый кислород, опустили цинковую пластинку и цинковую пластинку, частично покрытую медью. В каком случае процесс коррозии цинка проходит интенсивнее? Составьте уравнения анодного и катодного процессов.

112. В чём сущность электрохимической коррозии металлов? Как происходит коррозия оцинкованного и лужёного железа: а) во влажном воздухе? б) в кислой среде? Ответы обоснуйте и составьте электронно-ионные уравнения реакций, идущих на аноде и катоде.

113. В железной детали имеется алюминиевая заклёпка. Определите, что будет являться анодом, а что катодом в данной гальванической паре при её контакте с влажным воздухом

114. Почему при изготовлении металлических конструкций, которые будут эксплуатироваться на открытом воздухе, следует избегать прямого контакта алюминия и меди? Ответ аргументировать.

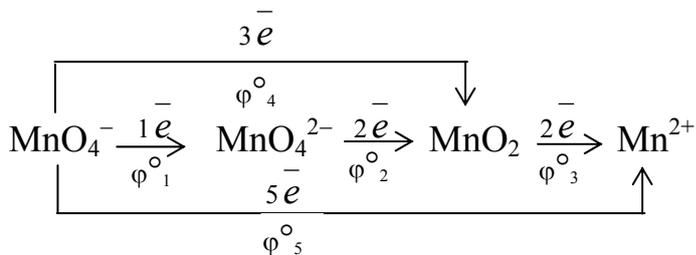
## Приложение

### Стандартные потенциалы восстановления ( $\varphi^\circ$ ) в водных растворах при 298,15 К

Знаки потенциалов в таблице соответствуют процессам восстановления.

Если в полуреакции участвуют частицы среды (ионы  $\text{H}^+$  или  $\text{OH}^-$ ), то величина потенциала зависит от значения рН и соответствует либо раствору с рН = 0 – стандартная кислотная среда, – либо раствору с рН = 14 – стандартная щелочная среда. В общем случае для учета влияния среды и расчёта нестандартных значений  $\varphi$  используют уравнение Нернста.

В ряде случаев табличные данные можно дополнить, определяя  $\varphi^\circ$  на основе потенциальных диаграмм (диаграмм Латимера), которые наглядно показывают переходы от одних форм к другим для конкретного элемента по убыванию его степеней окисления (*обязательно для одной и той же среды*) и передают взаимосвязь между соответствующими значениями  $\varphi^\circ$ . В качестве примера рассмотрим такую диаграмму для марганца в кислотной среде:



$$\begin{aligned}
 3\varphi_4^\circ &= \varphi_1^\circ + 2\varphi_2^\circ & \text{и} & \quad \varphi_4^\circ = (\varphi_1^\circ + 2\varphi_2^\circ)/3 \\
 5\varphi_5^\circ &= 3\varphi_4^\circ + 2\varphi_3^\circ & \text{и} & \quad \varphi_4^\circ = (5\varphi_5^\circ - 2\varphi_3^\circ)/3
 \end{aligned}$$

Элемент	Полуреакция	$\varphi^\circ$ , В
<b>Ag</b>	$\text{Ag}^{\text{I}}\text{Ag}^{\text{III}}\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow 2\text{Ag}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$	1,772
	$\text{Ag}^{\text{I}}\text{Ag}^{\text{III}}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{Ag}_2\text{O} + 2\text{OH}^-$	0,604
	$\text{Ag}^{2+} + e^- \rightarrow \text{Ag}^+$	1,980
	$\text{Ag}_2\text{O} + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow 2\text{Ag} + \text{H}_2\text{O}$	1,173
	$\text{Ag}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow 2\text{Ag} + 2\text{OH}^-$	0,345
	$\text{Ag}^+ + e^- \rightarrow \text{Ag}$	0,799
	$\text{AgCl} + e^- \rightarrow \text{Ag} + \text{Cl}^-$	0,222
	$\text{AgBr} + e^- \rightarrow \text{Ag} + \text{Br}^-$	0,071
	$\text{AgI} + e^- \rightarrow \text{Ag} + \text{I}^-$	-0,152
	$\text{Ag}_2\text{S} + 2e^- \rightarrow 2\text{Ag} + \text{S}^{2-}$	-0,655
	$[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ + 2\text{H}_2\text{O} + e^- \rightarrow \text{Ag} + 2(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O})$	0,367
	$[\text{Ag}(\text{SO}_3\text{S})_2]^{3-} + e^- \rightarrow \text{Ag} + 2\text{SO}_3\text{S}^{2-}$	0,017
	$[\text{Ag}(\text{CN})_2]^- + e^- \rightarrow \text{Ag} + 2\text{CN}^-$	-0,31
<b>Al</b>	$\text{Al}^{3+} + 3e^- \rightarrow \text{Al}$	-1,676
	$\text{Al}(\text{OH})_3 + 3e^- \rightarrow \text{Al} + 3\text{OH}^-$	-2,300
	$[\text{Al}(\text{OH})_4]^- + 3e^- \rightarrow \text{Al} + 4\text{OH}^-$	-2,310
<b>As</b>	$\text{H}_3\text{AsO}_4 + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{HAsO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	0,560
	$\text{H}_3\text{AsO}_4 + 5\text{H}^+ + 5e^- \rightarrow \text{As} + 4\text{H}_2\text{O}$	0,368
	$\text{HAsO}_2 + 3\text{H}^+ + 3e^- \rightarrow \text{As} + 2\text{H}_2\text{O}$	0,240
	$\text{As} + 3\text{H}^+ + 3e^- \rightarrow \text{AsH}_3\uparrow$	-0,238
	$\text{AsO}_4^{3-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{AsO}_2^- + 4\text{OH}^-$	-0,71
	$\text{AsO}_4^{3-} + 4\text{H}_2\text{O} + 5e^- \rightarrow \text{As} + 8\text{OH}^-$	-0,69
	$\text{AsO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O} + 3e^- \rightarrow \text{As} + 4\text{OH}^-$	-0,68
<b>Au</b>	$\text{Au}^{3+} + 2e^- \rightarrow \text{Au}^+$	1,402
	$\text{Au}^{3+} + 3e^- \rightarrow \text{Au}$	1,498
	$\text{Au}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+ + 3e^- \rightarrow \text{Au} + 3\text{H}_2\text{O}$	1,45

Элемент	Полуреакция	$\varphi^\circ$ , В
<b>Au</b>	$\text{Au}^+ + e^- \rightarrow \text{Au}$	1,691
	$[\text{AuCl}_4]^- + 2e^- \rightarrow [\text{AuCl}_2]^- + 2\text{Cl}^-$	0,926
	$[\text{AuCl}_4]^- + 3e^- \rightarrow \text{Au} + 4\text{Cl}^-$	1,002
	$[\text{Au}(\text{SCN})_4]^- + 2e^- \rightarrow [\text{Au}(\text{SCN})_2]^- + 2\text{SCN}^-$	0,623
	$[\text{Au}(\text{SCN})_4]^- + 3e^- \rightarrow \text{Au} + 4\text{SCN}^-$	0,636
	$[\text{AuCl}_2]^- + e^- \rightarrow \text{Au} + 2\text{Cl}^-$	1,154
	$[\text{Au}(\text{SCN})_2]^- + e^- \rightarrow \text{Au} + 2\text{SCN}^-$	0,662
	$[\text{Au}(\text{CN})_2]^- + e^- \rightarrow \text{Au} + 2\text{CN}^-$	-0,61
<b>B</b>	$\text{B}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+ + 3e^- \rightarrow \text{B} + 3\text{H}_2\text{O}$	-0,890
	$[\text{BF}_4]^- + 3e^- \rightarrow \text{B} + 4\text{F}^-$	-1,284
	$[\text{B}(\text{OH})_4]^- + 3e^- \rightarrow \text{B} + 4\text{OH}^-$	-1,81
<b>Ba</b>	$\text{BaO}_2 + 4\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{Ba}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	2,365
	$\text{Ba}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Ba}$	-2,92
<b>Be</b>	$\text{Be}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Be}$	-1,97
	$\text{Be}(\text{OH})_2 + 2e^- \rightarrow \text{Be} + 2\text{OH}^-$	-2,60
	$[\text{Be}(\text{OH})_4]^{2-} + 2e^- \rightarrow \text{Be} + 4\text{OH}^-$	-2,52
<b>Bi</b>	$\text{NaBiO}_3 \downarrow + 6\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{Bi}^{3+} + \text{Na}^+ + 3\text{H}_2\text{O}$	1,808
	$\text{Bi}^{3+} + 3e^- \rightarrow \text{Bi}$	0,317
	$\text{NaBiO}_3 \downarrow + 3\text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{Bi}(\text{OH})_3 + \text{Na}^+ + 3\text{OH}^-$	0,370
	$\text{Bi}(\text{OH})_3 + 3e^- \rightarrow \text{Bi} + 3\text{OH}^-$	-0,383
	$\text{Bi}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O} + 6e^- \rightarrow 2\text{Bi} + 6\text{OH}^-$	-0,46
<b>Br</b>	$\text{BrO}_4^- + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{BrO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$	1,853
	$\text{BrO}_3^- + 5\text{H}^+ + 4e^- \rightarrow \text{HBrO} + 2\text{H}_2\text{O}$	1,447
	$2\text{BrO}_3^- + 12\text{H}^+ + 10e^- \rightarrow \text{Br}_{2(\text{ж})} + 6\text{H}_2\text{O}$	1,478
	$\text{BrO}_3^- + 6\text{H}^+ + 6e^- \rightarrow \text{Br}^- + 3\text{H}_2\text{O}$	1,410
	$2\text{HBrO} + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{Br}_{2(\text{ж})} + 2\text{H}_2\text{O}$	1,604

Элемент	Полуреакция	$\varphi^\circ$ , В
<b>Br</b>	$\text{HBrO} + \text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{Br}^- + 2\text{H}_2\text{O}$	1,335
	$\text{Br}_{2(\text{ж})} + 2e^- \rightarrow 2\text{Br}^-$	1,065
	$\text{Br}_{2(\text{p})} + 2e^- \rightarrow 2\text{Br}^-$	1,087
	$\text{BrO}_4^- + \text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{BrO}_3^- + 2\text{OH}^-$	1,025
	$\text{BrO}_3^- + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^- \rightarrow \text{BrO}^- + 4\text{OH}^-$	0,492
	$2\text{BrO}_3^- + 6\text{H}_2\text{O} + 10e^- \rightarrow \text{Br}_{2(\text{ж})} + 12\text{OH}^-$	0,485
	$\text{BrO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O} + 6e^- \rightarrow \text{Br}^- + 6\text{OH}^-$	0,582
	$2\text{BrO}^- + 2\text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{Br}_{2(\text{ж})} + 4\text{OH}^-$	0,455
	$\text{BrO}^- + \text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{Br}^- + 2\text{OH}^-$	0,760
	<b>C</b>	$2\text{CO}_2 + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$
$\text{CO}_2 + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$		-0,106
$\text{CO}_2 + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{HCOOH}$		-0,20
$2\text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{C}_2\text{O}_4^{2-} + 4\text{OH}^-$		-1,21
$\text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{CO} + 4\text{OH}^-$		-1,223
$\text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{HCOO}^- + 3\text{OH}^-$		-1,01
<b>Ca</b>	$\text{CaO}_2 + 4\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	2,224
	$\text{Ca}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Ca}$	-2,84
<b>Cd</b>	$\text{Cd}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Cd}$	-0,403
	$[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Cd} + 4\text{NH}_3$	-0,622
	$\text{Cd}(\text{OH})_2 + 2e^- \rightarrow \text{Cd} + 2\text{OH}^-$	-0,824
	$[\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-} + 2e^- \rightarrow \text{Cd} + 4\text{CN}^-$	-1,09
<b>Cl</b>	$\text{ClO}_4^- + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{ClO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$	1,202
	$2\text{ClO}_4^- + 16\text{H}^+ + 14e^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 8\text{H}_2\text{O}$	1,392
	$\text{ClO}_4^- + 8\text{H}^+ + 8e^- \rightarrow \text{Cl}^- + 4\text{H}_2\text{O}$	1,388
	$\text{ClO}_3^- + 2\text{H}^+ + e^- \rightarrow \text{ClO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	1,175
	$\text{ClO}_3^- + 3\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{HClO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	1,182

Элемент	Полуреакция	$\varphi^\circ$ , В
<b>Cl</b>	$\text{ClO}_3^- + 5\text{H}^+ + 4e^- \rightarrow \text{HClO} + 2\text{H}_2\text{O}$	1,428
	$2\text{ClO}_3^- + 12\text{H}^+ + 10e^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	1,468
	$\text{ClO}_3^- + 6\text{H}^+ + 6e^- \rightarrow \text{Cl}^- + 3\text{H}_2\text{O}$	1,450
	$\text{ClO}_2 + \text{H}^+ + e^- \rightarrow \text{HClO}_2$	1,188
	$2\text{HClO}_2 + 6\text{H}^+ + 6e^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$	1,659
	$\text{HClO}_2 + 3\text{H}^+ + 4e^- \rightarrow \text{Cl}^- + 2\text{H}_2\text{O}$	1,584
	$2\text{HClO} + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	1,630
	$\text{HClO} + \text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$	1,494
	$\text{Cl}_2 + 2e^- \rightarrow 2\text{Cl}^-$	1,358
	$\text{ClO}_4^- + \text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{ClO}_3^- + 2\text{OH}^-$	0,374
	$\text{ClO}_4^- + 4\text{H}_2\text{O} + 8e^- \rightarrow \text{Cl}^- + 8\text{OH}^-$	0,560
	$\text{ClO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + e^- \rightarrow \text{ClO}_2 + 2\text{OH}^-$	-0,481
	$\text{ClO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{ClO}_2^- + 2\text{OH}^-$	0,295
	$\text{ClO}_3^- + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^- \rightarrow \text{ClO}^- + 4\text{OH}^-$	0,488
	$2\text{ClO}_3^- + 6\text{H}_2\text{O} + 10e^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 12\text{OH}^-$	0,475
	$\text{ClO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O} + 6e^- \rightarrow \text{Cl}^- + 6\text{OH}^-$	0,622
	$\text{ClO}_2 + e^- \rightarrow \text{ClO}_2^-$	1,071
	$\text{ClO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{ClO}^- + 2\text{OH}^-$	0,681
	$2\text{ClO}^- + 2\text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 4\text{OH}^-$	0,421
	$\text{ClO}^- + \text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{Cl}^- + 2\text{OH}^-$	0,890
<b>Co</b>	$\text{Co}^{3+} + e^- \rightarrow \text{Co}^{2+}$	1,90
	$\text{Co}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Co}$	-0,277
	$\text{Co}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+ + e^- \rightarrow \text{Co}^{2+} + 3\text{H}_2\text{O}$	1,75
	$\text{Co}(\text{OH})_3 + e^- \rightarrow \text{Co}(\text{OH})_2 + \text{OH}^-$	0,17
	$\text{Co}(\text{OH})_2 + 2e^- \rightarrow \text{Co} + 2\text{OH}^-$	-0,733
	$[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+} + e^- \rightarrow [\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$	0,108

Элемент	Полуреакция	$\varphi^\circ$ , В
<b>Co</b>	$[\text{Co}(\text{CN})_6]^{3-} + e^- \rightarrow [\text{Co}(\text{CN})_6]^{4-}$	-0,83
<b>Cr</b>	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6e^- \rightarrow 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$	1,33
	$\text{Cr}^{3+} + e^- \rightarrow \text{Cr}^{2+}$	-0,408
	$\text{Cr}^{3+} + 3e^- \rightarrow \text{Cr}$	-0,744
	$[\text{Cr}(\text{CN})_6]^{3-} + e^- \rightarrow [\text{Cr}(\text{CN})_6]^{4-}$	-1,280
	$\text{CrO}_4^{2-} + 4\text{H}_2\text{O} + 3e^- \rightarrow \text{Cr}(\text{OH})_3 + 5\text{OH}^-$	-0,125
	$\text{CrO}_4^{2-} + 4\text{H}_2\text{O} + 3e^- \rightarrow [\text{Cr}(\text{OH})_6]^{3-} + 2\text{OH}^-$	-0,165
	$[\text{Cr}(\text{OH})_6]^{3-} + e^- \rightarrow \text{Cr}(\text{OH})_2 + 4\text{OH}^-$	-1,057
	$\text{Cr}(\text{OH})_3 + e^- \rightarrow \text{Cr}(\text{OH})_2 + \text{OH}^-$	-1,175
	$\text{Cr}(\text{OH})_2 + 2e^- \rightarrow \text{Cr} + 2\text{OH}^-$	-1,355
	<b>Cu</b>	$\text{Cu}^{2+} + e^- \rightarrow \text{Cu}^+$
$\text{Cu}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Cu}$		0,340
$\text{Cu}^+ + e^- \rightarrow \text{Cu}$		0,521
$\text{Cu}^{2+} + \text{Cl}^- + e^- \rightarrow \text{CuCl}$		0,538
$\text{Cu}^{2+} + \text{Br}^- + e^- \rightarrow \text{CuBr}$		0,640
$\text{Cu}^{2+} + \text{I}^- + e^- \rightarrow \text{CuI}$		0,86
$\text{Cu}^{2+} + 2\text{CN}^- + e^- \rightarrow [\text{Cu}(\text{CN})_2]^-$		1,105
$\text{CuCl} + e^- \rightarrow \text{Cu} + \text{Cl}^-$		0,137
$\text{CuBr} + e^- \rightarrow \text{Cu} + \text{Br}^-$		0,033
$\text{CuI} + e^- \rightarrow \text{Cu} + \text{I}^-$		-0,185
$[\text{Cu}(\text{CN})_2]^- + e^- \rightarrow \text{Cu} + 2\text{CN}^-$		-0,43
$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+} + e^- \rightarrow [\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]^+ + 2\text{NH}_3$		-0,01
$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Cu} + 4\text{NH}_3$		-0,065
$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]^+ + e^- \rightarrow \text{Cu} + 2\text{NH}_3$		-0,12
$2\text{Cu}(\text{OH})_2 + 2e^- \rightarrow \text{Cu}_2\text{O} + 2\text{OH}^- + \text{H}_2\text{O}$		-0,080
$\text{Cu}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow 2\text{Cu} + 2\text{OH}^-$		-0,358

Элемент	Полуреакция	$\varphi^\circ$ , В
<b>F</b>	$F_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow 2HF$	3,053
	$F_2 + 2e^- \rightarrow 2F^-$	2,866
	$OF_2 + 2H^+ + 4e^- \rightarrow 2F^- + H_2O$	2,15
<b>Fe</b>	$FeO_4^{2-} + 8H^+ + 3e^- \rightarrow Fe^{3+} + 4H_2O$	1,90
	$Fe^{3+} + e^- \rightarrow Fe^{2+}$	0,771
	$Fe^{2+} + 2e^- \rightarrow Fe$	-0,440
	$[Fe(CN)_6]^{3-} + e^- \rightarrow [Fe(CN)_6]^{4-}$	0,36
	$FeO_4^{2-} + 3H_2O + 3e^- \rightarrow FeO(OH) + 5OH^-$	0,72
	$Fe(OH)_3 + e^- \rightarrow Fe(OH)_2 + OH^-$	-0,56
	$Fe(OH)_2 + 2e^- \rightarrow Fe + 2OH^-$	-0,877
<b>Ga</b>	$Ga^{3+} + e^- \rightarrow Ga$	-0,53
	$Ga(OH)_3 + 3e^- \rightarrow Ga + 3OH^-$	-1,26
	$[Ga(OH)_4]^- + 3e^- \rightarrow Ga + 4OH^-$	-1,33
<b>Ge</b>	$GeO_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow Ge + 2H_2O$	-0,069
	$H_2GeO_3 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow Ge + 3H_2O$	-0,129
	$[Ge(OH)_6]^{2-} + 4e^- \rightarrow Ge + 6OH^-$	-0,972
<b>H</b>	$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$	0,000
	$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$	-0,828
	$H_2 + 2e^- \rightarrow 2H^-$	-2,251
<b>Hf</b>	$HfO_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow Hf + 2H_2O$	-1,57
	$Hf^{4+} + 4e^- \rightarrow Hf$	-1,70
	$HfO(OH)_2 + H_2O + 4e^- \rightarrow Hf + 4OH^-$	-2,50
<b>Hg</b>	$2Hg^{2+} + 2e^- \rightarrow Hg_2^{2+}$	0,911
	$Hg^{2+} + 2e^- \rightarrow Hg$	0,854
	$HgO + H_2O + 2e^- \rightarrow Hg + 2OH^-$	0,098
	$[HgI_4]^{2-} + 2e^- \rightarrow Hg + 4I^-$	-0,038

Элемент	Полуреакция	$\varphi^\circ$ , В
<b>Hg</b>	$[\text{Hg}(\text{CN})_4]^{2-} + 2e^- \rightarrow \text{Hg} + 4\text{CN}^-$	-0,37
	$\text{Hg}_2^{2+} + 2e^- \rightarrow 2\text{Hg}$	0,796
	$\text{Hg}_2\text{Cl}_2 + 2e^- \rightarrow 2\text{Hg} + 2\text{Cl}^-$	0,268
	$\text{Hg}_2\text{Br}_2 + 2e^- \rightarrow 2\text{Hg} + 2\text{Br}^-$	0,140
	$\text{Hg}_2\text{I}_2 + 2e^- \rightarrow 2\text{Hg} + 2\text{I}^-$	-0,041
<b>I</b>	$\text{H}_5\text{IO}_6 + \text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{IO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O}$	1,60
	$\text{IO}_3^- + 5\text{H}^+ + 4e^- \rightarrow \text{HIO} + 2\text{H}_2\text{O}$	1,14
	$2\text{IO}_3^- + 12\text{H}^+ + 10e^- \rightarrow \text{I}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	1,20
	$\text{IO}_3^- + 6\text{H}^+ + 6e^- \rightarrow \text{I}^- + 3\text{H}_2\text{O}$	1,09
	$2\text{HIO} + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{I}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	1,45
	$\text{I}_2 + 2e^- \rightarrow 2\text{I}^-$	0,536
	$\text{H}_3\text{IO}_6^{2-} + 2e^- \rightarrow \text{IO}_3^- + 3\text{OH}^-$	0,65
	$\text{IO}_3^- + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^- \rightarrow \text{IO}^- + 4\text{OH}^-$	0,15
	$2\text{IO}_3^- + 6\text{H}_2\text{O} + 10e^- \rightarrow \text{I}_2 + 12\text{OH}^-$	0,21
	$\text{IO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O} + 6e^- \rightarrow \text{I}^- + 6\text{OH}^-$	0,26
	$2\text{IO}^- + 2\text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{I}_2 + 4\text{OH}^-$	0,43
	$\text{IO}^- + \text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{I}^- + 2\text{OH}^-$	0,49
	<b>In</b>	$\text{In}^{3+} + 2e^- \rightarrow \text{In}^+$
$\text{In}^{3+} + 3e^- \rightarrow \text{In}$		-0,338
$\text{In}^+ + e^- \rightarrow \text{In}$		-0,126
$\text{In}(\text{OH})_3 + e^- \rightarrow \text{In} + 3\text{OH}^-$		-1,00
<b>Ir</b>	$\text{IrO}_2 + 4\text{H}^+ + e^- \rightarrow \text{Ir}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$	0,223
	$\text{IrO}_2 + 4\text{H}^+ + 4e^- \rightarrow \text{Ir} + 2\text{H}_2\text{O}$	0,926
	$\text{Ir}^{3+} + 3e^- \rightarrow \text{Ir}$	1,156
<b>K</b>	$\text{K}^+ + e^- \rightarrow \text{K}$	-2,924
<b>Li</b>	$\text{Li}^+ + e^- \rightarrow \text{Li}$	-3,040

Элемент	Полуреакция	$\varphi^\circ$ , В
<b>Mg</b>	$\text{Mg}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Mg}$	-2,356
	$\text{Mg}(\text{OH})_2 + 2e^- \rightarrow \text{Mg} + 2\text{OH}^-$	-2,687
<b>Mn</b>	$\text{MnO}_4^- + e^- \rightarrow \text{MnO}_4^{2-}$	0,56
	$\text{MnO}_4^- + 4\text{H}^+ + 3e^- \rightarrow \text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	1,70
	$\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5e^- \rightarrow \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	1,51
	$\text{MnO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	2,27
	$\text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ + e^- \rightarrow \text{Mn}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$	0,95
	$\text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	1,23
	$\text{Mn}^{3+} + e^- \rightarrow \text{Mn}^{2+}$	1,51
	$\text{Mn}^{2+} + e^- \rightarrow \text{Mn}$	-1,18
	$\text{MnO}_4^- + 2\text{H}_2\text{O} + 3e^- \rightarrow \text{MnO}_2 + 4\text{OH}^-$	0,60
	$\text{MnO}_4^- + 4\text{H}_2\text{O} + 5e^- \rightarrow \text{Mn}(\text{OH})_2 + 6\text{OH}^-$	0,34
	$\text{MnO}_4^{2-} + e^- \rightarrow \text{MnO}_4^{3-}$	0,27
	$\text{MnO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{MnO}_2 + 4\text{OH}^-$	0,62
	$\text{MnO}_4^{3-} + 2\text{H}_2\text{O} + e^- \rightarrow \text{MnO}_2 + 4\text{OH}^-$	0,96
	$\text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + e^- \rightarrow \text{Mn}(\text{OH})_3 + \text{OH}^-$	0,15
	$\text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{Mn}(\text{OH})_2 + 2\text{OH}^-$	-0,15
	$\text{Mn}(\text{OH})_3 + e^- \rightarrow \text{Mn}(\text{OH})_2 + \text{OH}^-$	-0,25
	$\text{Mn}(\text{OH})_2 + 2e^- \rightarrow \text{Mn} + 2\text{OH}^-$	-1,56
<b>Mo</b>	$\text{MoO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{MoO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	0,876
	$\text{H}_2\text{MoO}_4 + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{MoO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	0,646
	$\text{H}_2\text{MoO}_4 + 6\text{H}^+ + 3e^- \rightarrow \text{Mo}^{3+} + 4\text{H}_2\text{O}$	0,428
	$\text{MoO}_4^{2-} + 8\text{H}^+ + 6e^- \rightarrow \text{Mo} + 4\text{H}_2\text{O}$	0,191
	$\text{H}_2\text{MoO}_4 + 6\text{H}^+ + 6e^- \rightarrow \text{Mo} + 4\text{H}_2\text{O}$	0,114
	$\text{MoO}_2 + 4\text{H}^+ + e^- \rightarrow \text{Mo}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$	-0,008
	$\text{MoO}_2 + 4\text{H}^+ + 4e^- \rightarrow \text{Mo} + 2\text{H}_2\text{O}$	-0,152

Элемент	Полуреакция	$\varphi^\circ$ , В
<b>Mo</b>	$\text{Mo}^{3+} + 3e^- \rightarrow \text{Mo}$	-0,20
	$\text{MoO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{MoO}_2 + 4\text{OH}^-$	-0,780
	$\text{MoO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^- \rightarrow \text{Mo} + 4\text{OH}^-$	-0,980
<b>N</b>	$\text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + e^- \rightarrow \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	0,773
	$\text{NO}_3^- + 3\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{HNO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	0,940
	$\text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O}$	0,844
	$\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ + 3e^- \rightarrow \text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$	0,955
	$2\text{NO}_3^- + 10\text{H}^+ + 8e^- \rightarrow \text{N}_2\text{O} + 5\text{H}_2\text{O}$	1,113
	$2\text{NO}_3^- + 12\text{H}^+ + 10e^- \rightarrow \text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	1,244
	$\text{NO}_3^- + 10\text{H}^+ + 8e^- \rightarrow \text{NH}_4^+ + 3\text{H}_2\text{O}$	0,880
	$\text{NO}_2 + \text{H}^+ + e^- \rightarrow \text{HNO}_2$	1,107
	$\text{HNO}_2 + \text{H}^+ + e^- \rightarrow \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$	0,985
	$2\text{HNO}_2 + 4\text{H}^+ + 4e^- \rightarrow \text{N}_2\text{O} + 3\text{H}_2\text{O}$	1,286
	$2\text{HNO}_2 + 6\text{H}^+ + 6e^- \rightarrow \text{N}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$	1,447
	$2\text{NO} + 4\text{H}^+ + 4e^- \rightarrow \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	1,678
	$\text{N}_2\text{O} + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$	1,768
	$\text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + e^- \rightarrow \text{NO}_2 + 2\text{OH}^-$	-0,883
	$\text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{NO}_2^- + 2\text{OH}^-$	0,016
	$\text{NO}_3^- + 2\text{H}_2\text{O} + 3e^- \rightarrow \text{NO} + 4\text{OH}^-$	-0,149
	$2\text{NO}_3^- + 5\text{H}_2\text{O} + 8e^- \rightarrow \text{N}_2\text{O} + 10\text{OH}^-$	0,078
	$2\text{NO}_3^- + 6\text{H}_2\text{O} + 10e^- \rightarrow \text{N}_2 + 12\text{OH}^-$	0,250
	$\text{NO}_3^- + 7\text{H}_2\text{O} + 8e^- \rightarrow \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + 9\text{OH}^-$	-0,120
	$\text{NO}_2 + e^- \rightarrow \text{NO}_2^-$	0,915
	$\text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + e^- \rightarrow \text{NO} + 2\text{OH}^-$	-0,479
	$2\text{NO}_2^- + 4\text{H}_2\text{O} + 6e^- \rightarrow \text{N}_2 + 8\text{OH}^-$	0,406
	$2\text{NO} + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^- \rightarrow \text{N}_2 + 4\text{OH}^-$	0,848

Элемент	Полуреакция	$\varphi^\circ$ , В
<b>N</b>	$\text{N}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{N}_2 + 2\text{OH}^-$	0,938
	$\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow 2(\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{H}_2\text{O}) + 2\text{OH}^-$	-3,043
	$\text{N}_2 + 5\text{H}_2\text{O} + 4e^- \rightarrow \text{N}_2\text{H}_4\cdot\text{H}_2\text{O} + 4\text{OH}^-$	-1,119
	$\text{N}_2 + 8\text{H}_2\text{O} + 6e^- \rightarrow 2(\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}) + 6\text{OH}^-$	-0,737
	$\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + 6e^- \rightarrow 2\text{NH}_3\uparrow + 6\text{OH}^-$	-0,771
	$\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O} + 2\text{OH}^-$	0,416
	$\text{N}_2\text{H}_4\cdot\text{H}_2\text{O} + 3\text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow 2(\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}) + 2\text{OH}^-$	0,027
<b>Na</b>	$\text{Na}^+ + e^- \rightarrow \text{Na}$	-2,713
<b>Nb</b>	$\text{Nb}_2\text{O}_5 + 10\text{H}^+ + 4e^- \rightarrow 2\text{Nb}^{3+} + 5\text{H}_2\text{O}$	0,025
	$\text{Nb}_2\text{O}_5 + 10\text{H}^+ + 10e^- \rightarrow 2\text{Nb} + 5\text{H}_2\text{O}$	-0,65
	$\text{Nb}^{3+} + 3e^- \rightarrow \text{Nb}$	-1,10
<b>Ni</b>	$\text{NiO}_2 + 4\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{Ni}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	1,678
	$\text{Ni}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+ + e^- \rightarrow \text{Ni}^{2+} + 3\text{H}_2\text{O}$	2,23
	$\text{Ni}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Ni}$	-0,250
	$\text{NiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{Ni}(\text{OH})_2 + 2\text{OH}^-$	0,490
	$\text{Ni}(\text{OH})_3 + e^- \rightarrow \text{Ni}(\text{OH})_2 + \text{OH}^-$	0,77
	$[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+} + 6\text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{Ni} + 6(\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O})$	-0,49
	$\text{Ni}(\text{OH})_2 + 2e^- \rightarrow \text{Ni} + 2\text{OH}^-$	-0,72
<b>O</b>	$\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2$	0,695
	$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	1,229
	$\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	1,763
	$\text{O}_3 + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$	2,075
	$\text{O}_3 + 2\text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{OH}^-$	1,246
	$\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{HO}_2^- + \text{OH}^-$	-0,065
	$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^- \rightarrow 4\text{OH}^-$	0,401
	$\text{H}_2\text{O}_2 + 2e^- \rightarrow 2\text{OH}^-$	0,935
	$\text{HO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow 3\text{OH}^-$	0,867

Элемент	Полуреакция	$\varphi^\circ$ , В
<b>Os</b>	$\text{OsO}_4 + 4\text{H}^+ + 4e^- \rightarrow \text{OsO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	1,005
	$\text{OsO}_4 + 8\text{H}^+ + 8e^- \rightarrow \text{Os} + 4\text{H}_2\text{O}$	0,846
	$\text{OsO}_2 + 4\text{H}^+ + 4e^- \rightarrow \text{Os} + 2\text{H}_2\text{O}$	0,687
<b>P</b>	$\text{H}_3\text{PO}_4 + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{H}_2(\text{HPO}_3) + \text{H}_2\text{O}$	-0,276
	$\text{H}_3\text{PO}_4 + 4\text{H}^+ + 4e^- \rightarrow \text{H}(\text{H}_2\text{PO}_2) + 2\text{H}_2\text{O}$	-0,388
	$\text{H}_3\text{PO}_4 + 5\text{H}^+ + 5e^- \rightarrow \text{P} + 4\text{H}_2\text{O}$	-0,412
	$\text{H}_3\text{PO}_4 + 8\text{H}^+ + 8e^- \rightarrow \text{PH}_3 + 4\text{H}_2\text{O}$	-0,281
	$\text{H}_2(\text{HPO}_3) + 3\text{H}^+ + 3e^- \rightarrow \text{P} + 3\text{H}_2\text{O}$	-0,502
	$\text{H}(\text{H}_2\text{PO}_2) + \text{H}^+ + e^- \rightarrow \text{P} + 2\text{H}_2\text{O}$	-0,365
	$\text{P} + 3\text{H}^+ + 3e^- \rightarrow \text{PH}_3$	-0,063
	$\text{PO}_4^{3-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{HPO}_3^{2-} + 3\text{OH}^-$	-1,12
	$\text{HPO}_3^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{H}_2\text{PO}_2^- + 3\text{OH}^-$	-1,57
	$\text{HPO}_3^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} + 3e^- \rightarrow \text{P} + 5\text{OH}^-$	-1,73
	$\text{H}_2\text{PO}_2^- + e^- \rightarrow \text{P} + 2\text{OH}^-$	-2,05
	$\text{P} + 3\text{H}_2\text{O} + 3e^- \rightarrow \text{PH}_3 + 3\text{OH}^-$	-0,89
	$\text{H}_2\text{PO}_2^- + 3\text{H}_2\text{O} + 4e^- \rightarrow \text{PH}_3 + 5\text{OH}^-$	-1,18
	<b>Pb</b>	$\text{PbO}_2 + 4\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{Pb}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$
$\text{PbO}_2 + 4\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-} + 2e^- \rightarrow \text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$		1,685
$\text{Pb}_3\text{O}_4 + 8\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow 3\text{Pb}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$		2,156
$\text{Pb}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Pb}$		-0,125
$\text{PbSO}_4 + 2e^- \rightarrow \text{Pb} + \text{SO}_4^{2-}$		-0,359
$\text{PbSO}_4 + 8\text{H}^+ + 8e^- \rightarrow \text{PbS} + 4\text{H}_2\text{O}$		0,304
$\text{PbS} + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{Pb} + \text{H}_2\text{S}_{(p)}$		-0,367
$\text{PbS} + 2e^- \rightarrow \text{Pb} + \text{S}^{2-}$		-0,956
$\text{PbO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{Pb}(\text{OH})_2 + 2\text{OH}^-$		0,386
$\text{PbO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow [\text{Pb}(\text{OH})_4]^{2-}$		0,210

Элемент	Полуреакция	$\varphi^\circ$ , В
<b>Pb</b>	$\text{Pb(OH)}_6]^{2-} + 2e^- \rightarrow [\text{Pb(OH)}_4]^{2-} + 2\text{OH}^-$	0,305
	$\text{Pb}_3\text{O}_4 + 4\text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow 3\text{Pb(OH)}_2 + 2\text{OH}^-$	0,587
	$\text{Pb}_3\text{O}_4 + 4\text{H}_2\text{O} + 4\text{OH}^- + 2e^- \rightarrow 3[\text{Pb(OH)}_4]^{2-}$	0,076
	$[\text{Pb(OH)}_4]^{2-} + 2e^- \rightarrow \text{Pb} + 4\text{OH}^-$	-0,538
	$\text{Pb(OH)}_2 + 2e^- \rightarrow \text{Pb} + 2\text{OH}^-$	-0,714
<b>Pd</b>	$\text{PdO}_2 + 4\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{Pd}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	1,263
	$\text{Pd}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Pd}$	0,915
	$[\text{PdCl}_6]^{2-} + 2e^- \rightarrow [\text{PdCl}_4]^{2-} + 2\text{Cl}^-$	1,288
	$[\text{PdCl}_4]^{2-} + 2e^- \rightarrow \text{Pd} + 4\text{Cl}^-$	0,640
	$\text{Pd(OH)}_4 + 2e^- \rightarrow \text{Pd(OH)}_2 + 2\text{OH}^-$	0,73
	$\text{Pd(OH)}_2 + 2e^- \rightarrow \text{Pd} + 2\text{OH}^-$	0,07
<b>Pt</b>	$\text{PtO}_2 + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{PtO} + \text{H}_2\text{O}$	1,045
	$\text{PtO}_2 + 4\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{Pt}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	0,837
	$\text{Pt}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Pt}$	1,188
	$[\text{PtCl}_6]^{2-} + 2e^- \rightarrow [\text{PtCl}_4]^{2-} + 2\text{Cl}^-$	0,734
	$\text{PtO} + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{Pt} + \text{H}_2\text{O}$	0,980
	$[\text{PtCl}_4]^{2-} + 2e^- \rightarrow \text{Pt} + 4\text{Cl}^-$	0,811
	$\text{PtO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{Pt(OH)}_2 + 2\text{OH}^-$	0,272
	$\text{Pt(OH)}_2 + 2e^- \rightarrow \text{Pt} + 2\text{OH}^-$	0,237
<b>Rb</b>	$\text{Rb}^+ + e^- \rightarrow \text{Rb}$	-2,924
<b>Re</b>	$\text{ReO}_4^- + 4\text{H}^+ + 3e^- \rightarrow \text{ReO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	0,510
	$\text{ReO}_4^- + 8\text{H}^+ + 7e^- \rightarrow \text{Re} + 4\text{H}_2\text{O}$	0,369
	$\text{ReO}_3 + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{ReO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	0,38
	$\text{ReO}_2 + 4\text{H}^+ + 4e^- \rightarrow \text{Re} + 2\text{H}_2\text{O}$	0,263
	$\text{ReO}_4^- + e^- \rightarrow \text{ReO}_4^{2-}$	-0,700
	$\text{ReO}_4^- + \text{H}_2\text{O} + e^- \rightarrow \text{ReO}_3 + 2\text{OH}^-$	-0,924

Элемент	Полуреакция	$\varphi^\circ$ , В
<b>Re</b>	$\text{ReO}_4^- + 2\text{H}_2\text{O} + 3e^- \rightarrow \text{ReO}_2 + 4\text{OH}^-$	-0,594
	$\text{ReO}_4^- + 4\text{H}_2\text{O} + 7e^- \rightarrow \text{Re} + 8\text{OH}^-$	-0,584
	$\text{ReO}_4^{2-} + 4\text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{Re}(\text{OH})_4 + 4\text{OH}^-$	-0,541
	$\text{ReO}_3 + 3\text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{Re}(\text{OH})_4 + 2\text{OH}^-$	-0,429
<b>Rh</b>	$\text{Rh}_2\text{O}_3 + 6\text{H}^+ + 6e^- \rightarrow 2\text{Rh} + 3\text{H}_2\text{O}$	0,87
	$\text{Rh}^{3+} + e^- \rightarrow \text{Rh}$	0,80
	$\text{Rh}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O} + 6e^- \rightarrow 2\text{Rh} + 6\text{OH}^-$	0,04
<b>Ru</b>	$\text{RuO}_4 + e^- \rightarrow \text{RuO}_4^-$	0,99
	$\text{RuO}_4 + 4\text{H}^+ + 4e^- \rightarrow \text{RuO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	1,40
	$\text{RuO}_4 + 8\text{H}^+ + 8e^- \rightarrow \text{Ru} + 4\text{H}_2\text{O}$	1,04
	$\text{RuO}_4^- + e^- \rightarrow \text{RuO}_4^{2-}$	0,59
	$\text{RuO}_4^- + 4\text{H}^+ + 3e^- \rightarrow \text{RuO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	1,53
	$\text{RuO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{RuO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	2,00
	$\text{RuO}_2 + 4\text{H}^+ + 4e^- \rightarrow \text{Ru} + 2\text{H}_2\text{O}$	0,68
	$\text{RuO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^- \rightarrow \text{Ru} + 4\text{OH}^-$	-0,15
<b>S</b>	$\text{S}_2\text{O}_6(\text{O}_2)^{2-} + 2e^- \rightarrow 2\text{SO}_4^{2-}$	2,01
	$2\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{S}_2\text{O}_6^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$	-0,23
	$\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{SO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$	0,161
	$\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{SO}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$	0,159
	$2\text{SO}_4^{2-} + 10\text{H}^+ + 8e^- \rightarrow \text{SO}_3\text{S}^{2-} + 5\text{H}_2\text{O}$	0,280
	$\text{SO}_4^{2-} + 8\text{H}^+ + 6e^- \rightarrow \text{S} + 4\text{H}_2\text{O}$	0,357
	$\text{SO}_4^{2-} + 10\text{H}^+ + 8e^- \rightarrow \text{H}_2\text{S} \uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$	0,310
	$\text{SO}_4^{2-} + 10\text{H}^+ + 8e^- \rightarrow \text{H}_2\text{S}_{(p)} + 4\text{H}_2\text{O}$	0,303
	$\text{SO}_4^{2-} + 8\text{H}^+ + 8e^- \rightarrow \text{S}^{2-} + 4\text{H}_2\text{O}$	0,154
	$4(\text{SO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}) + 4\text{H}^+ + 6e^- \rightarrow \text{S}_4\text{O}_6^{2-} + 6\text{H}_2\text{O}$	0,51
	$2(\text{SO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}) + 2\text{H}^+ + 4e^- \rightarrow \text{SO}_3\text{S}^{2-} + 3\text{H}_2\text{O}$	0,398

Элемент	Полуреакция	$\varphi^\circ$ , В
<b>S</b>	$2\text{SO}_2\uparrow + 2\text{H}^+ + 4e^- \rightarrow \text{SO}_3\text{S}^{2-} + \text{H}_2\text{O}$	0,400
	$\text{SO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + 4\text{H}^+ + 4e^- \rightarrow \text{S} + 3\text{H}_2\text{O}$	0,455
	$\text{SO}_2\uparrow + 4\text{H}^+ + 4e^- \rightarrow \text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$	0,456
	$\text{S}_4\text{O}_6^{2-} + 2e^- \rightarrow 2\text{SO}_3\text{S}^{2-}$	0,06
	$\text{SO}_3\text{S}^{2-} + 6\text{H}^+ + 4e^- \rightarrow \text{S} + 3\text{H}_2\text{O}$	0,512
	$\text{S} + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{H}_2\text{S}\uparrow$	0,170
	$\text{S} + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{H}_2\text{S}_{(p)}$	0,142
	$\text{SO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{SO}_3^{2-} + 2\text{OH}^-$	-0,932
	$\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}_2\text{O} + 8e^- \rightarrow \text{S}^{2-} + 8\text{OH}^-$	-0,674
	$2\text{SO}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O} + 4e^- \rightarrow \text{SO}_3\text{S}^{2-} + 6\text{OH}^-$	-0,58
	$\text{SO}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O} + 4e^- \rightarrow \text{S} + 6\text{OH}^-$	-0,659
	$\text{SO}_3\text{S}^{2-} + 3\text{H}_2\text{O} + 4e^- \rightarrow 2\text{S} + 6\text{OH}^-$	-0,74
	$\text{S} + 2e^- \rightarrow \text{S}^{2-}$	-0,447
	<b>Sb</b>	$\text{Sb}_2\text{O}_5 + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{Sb}_2\text{O}_4 + \text{H}_2\text{O}$
$[\text{SbCl}_6]^- + 2e^- \rightarrow [\text{SbCl}_4]^- + 2\text{Cl}^-$		0,750
$\text{Sb}_2\text{O}_5 + 4\text{H}^+ + 4e^- \rightarrow \text{Sb}_2\text{O}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$		0,699
$\text{Sb}_2\text{O}_5 + 6\text{H}^+ + 4e^- \rightarrow 2\text{SbO}^+ + 3\text{H}_2\text{O}$		0,605
$\text{Sb}_2\text{O}_4 + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{Sb}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$		0,342
$\text{SbO}^+ + 2\text{H}^+ + 3e^- \rightarrow \text{Sb} + \text{H}_2\text{O}$		0,204
$\text{Sb}_2\text{O}_3 + 6\text{H}^+ + 6e^- \rightarrow 2\text{Sb} + 3\text{H}_2\text{O}$		0,150
$\text{Sb}^{3+} + 3e^- \rightarrow \text{Sb}$		0,240
$[\text{SbCl}_4]^- + 3e^- \rightarrow \text{Sb} + 4\text{Cl}^-$		0,170
$\text{Sb} + 3\text{H}^+ + 3e^- \rightarrow \text{SbH}_3$		-0,510
$[\text{Sb}(\text{OH})_6]^- + 2e^- \rightarrow [\text{Sb}(\text{OH})_6]^{3-}$		-0,590
$[\text{Sb}(\text{OH})_6]^{3-} + 3e^- \rightarrow \text{Sb} + 3\text{OH}^-$		-0,649
$\text{Sb} + 3\text{H}_2\text{O} + 3e^- \rightarrow \text{SbH}_3 + 3\text{OH}^-$		-1,338

Элемент	Полуреакция	$\varphi^\circ$ , В
<b>Sc</b>	$\text{Sc}^{3+} + 3e^- \rightarrow \text{Sc}$	-2,08
	$\text{Sc}(\text{OH})_3 + 3e^- \rightarrow \text{Sc} + 3\text{OH}^-$	-2,66
<b>Se</b>	$\text{SeO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{H}_2\text{SeO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	1,150
	$\text{SeO}_4^{2-} + 3\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{HSeO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$	1,073
	$\text{HSeO}_3^- + 5\text{H}^+ + 4e^- \rightarrow \text{Se} + 3\text{H}_2\text{O}$	0,778
	$\text{H}_2\text{SeO}_3 + 4\text{H}^+ + 4e^- \rightarrow \text{Se} + 3\text{H}_2\text{O}$	0,741
	$\text{Se} + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{H}_2\text{Se}\uparrow$	-0,082
	$\text{Se} + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{H}_2\text{Se}_{(p)}$	-0,115
	$\text{SeO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{SeO}_3^{2-} + 2\text{OH}^-$	0,03
	$\text{SeO}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O} + 4e^- \rightarrow \text{Se} + 6\text{OH}^-$	-0,36
	$\text{Se} + 2e^- \rightarrow \text{Se}^{2-}$	-0,67
	<b>Si</b>	$[\text{SiF}_6]^{2-} + 4e^- \rightarrow \text{Si} + 6\text{F}^-$
$\text{H}_4\text{SiO}_4 + 4\text{H}^+ + 4e^- \rightarrow \text{Si} + 4\text{H}_2\text{O}$		-0,936
$\text{SiO}_2 + 4\text{H}^+ + 4e^- \rightarrow \text{Si} + 2\text{H}_2\text{O}$		-0,990
$\text{SiO}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O} + 4e^- \rightarrow \text{Si} + 6\text{OH}^-$		-1,697
$\text{Si} + 4\text{H}^+ + 4e^- \rightarrow \text{SiH}_4$		-0,148
$\text{SiO}_4^{4-} + 4\text{H}_2\text{O} + 4e^- \rightarrow \text{Si} + 8\text{OH}^-$		-1,859
<b>Sn</b>	$\text{Sn}^{4+} + 2e^- \rightarrow \text{Sn}^{2+}$	0,154
	$[\text{SnCl}_6]^{2-} + 2e^- \rightarrow [\text{SnCl}_3]^- + 3\text{Cl}^-$	0,139
	$[\text{SnCl}_3]^- + 2e^- \rightarrow \text{Sn} + 3\text{Cl}^-$	-0,201
	$\text{SnO}_2 + 4\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{Sn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	-0,095
	$\text{SnO}_2 + 4\text{H}^+ + 4e^- \rightarrow \text{Sn} + 2\text{H}_2\text{O}$	-0,118
	$\text{SnO}_2 + 3\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{SnOH}^+ + \text{H}_2\text{O}$	-0,158
	$\text{SnOH}^+ + \text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{Sn} + \text{H}_2\text{O}$	-0,078
	$\text{SnO} + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{Sn} + \text{H}_2\text{O}$	-0,104
	$\text{Sn}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Sn}$	-0,141

Элемент	Полуреакция	$\varphi^\circ$ , В
<b>V</b>	$V_2O_5 + 6H^+ + 2e^- \rightarrow 2VO^{2+} + 3H_2O$	0,958
	$VO_2^+ + 2H^+ + e^- \rightarrow VO^{2+} + H_2O$	1,000
	$VO_2^+ + 4H^+ + 2e^- \rightarrow V^{3+} + 2H_2O$	0,668
	$VO_2^+ + 4H^+ + 3e^- \rightarrow V^{2+} + 2H_2O$	0,361
	$VO^{2+} + 2H^+ + e^- \rightarrow V^{3+} + H_2O$	0,337
	$V^{3+} + e^- \rightarrow V^{2+}$	-0,255
	$V^{2+} + 2e^- \rightarrow V$	-1,125
	$4VO_4^{3-} + 7H_2O + 4e^- \rightarrow V_4O_9^{2-} + 14OH^-$	-0,740
	$VO(OH)_2 + H_2O + e^- \rightarrow V(OH)_3 + OH^-$	-0,436
	$V(OH)_3 + e^- \rightarrow V(OH)_2 + OH^-$	-1,313
	$V_2O_3 + H_2O + 2e^- \rightarrow 2VO + 2OH^-$	-0,486
	$VO + H_2O + 2e^- \rightarrow V + 2OH^-$	-0,820
	<b>W</b>	$WO_4^{2-} + 4H^+ + 2e^- \rightarrow WO_2 + 2H_2O$
$WO_4^{2-} + 8H^+ + 6e^- \rightarrow W + 4H_2O$		0,049
$WO_3 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow WO_2 + H_2O$		0,038
$WO_3 + 6H^+ + 6e^- \rightarrow W + 3H_2O$		-0,090
$WO_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow W + 2H_2O$		-0,154
$WO_4^{2-} + 2H_2O + 2e^- \rightarrow WO_2 + 4OH^-$		-1,200
$WO_4^{2-} + 4H_2O + 6e^- \rightarrow W + 8OH^-$		-1,055
$[W(CN)_8]^{3-} + e^- \rightarrow [W(CN)_8]^{4-}$		0,457
$WO_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow W + 4OH^-$		-0,982
<b>Y</b>	$Y^{3+} + 3e^- \rightarrow Y$	-2,372
	$Y(OH)_3 + 3e^- \rightarrow Y + 3OH^-$	-2,855
<b>Zn</b>	$Zn^{2+} + 2e^- \rightarrow Zn$	-0,763
	$[Zn(CN)_4]^{2-} + 2e^- \rightarrow Zn + 4CN^-$	-1,260
	$[Zn(NH_3)_4]^{2+} + 4H_2O + 2e^- \rightarrow Zn + 4(NH_3 \cdot H_2O)$	-1,030

Элемент	Полуреакция	$\varphi^\circ$ , В
<b>Zn</b>	$\text{Zn(OH)}_2 + 2e^- \rightarrow \text{Zn} + 2\text{OH}^-$	-1,243
	$\text{ZnO}_2^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{Zn} + 4\text{OH}^-$	-1,216
	$[\text{Zn(OH)}_4]^{2-} + 2e^- \rightarrow \text{Zn} + 4\text{OH}^-$	-1,255
<b>Zr</b>	$\text{ZrO}_2 + 4\text{H}^+ + 4e^- \rightarrow \text{Zr} + 2\text{H}_2\text{O}$	-1,473
	$\text{Zr}^{4+} + 4e^- \rightarrow \text{Zr}$	-1,55
	$\text{ZrO(OH)}_2 + \text{H}_2\text{O} + 4e^- \rightarrow \text{Zr} + 4\text{OH}^-$	-2,225

## Список литературы

1. Глинка, Н.Л. Общая химия: учеб. пособие для вузов / Н.Л. Глинка. - Изд. 30-е, испр. - М.: Интеграл-Пресс, 2005.
2. Угай, Я.А. Общая и неорганическая химия: учеб. для вузов / Я.А. Угай. – Изд. 4-е, стер. – М.: Высш. шк., 2004.
3. Дамаскин, Б.Б. Электрохимия / Б.Б. Дамаскин, О.А. Петрий, Г.А. Цирлина. – 2-е изд., испр. и перераб. – М.: Химия; КолосС, 2006.
4. Коровин, Н.В. Общая химия: учеб. для техн. направ. и спец. вузов / Н.В. Коровин. – Изд. 2-е, испр. и доп.- М.: Высш. шк., 2000.
5. Фролов, В.В. Химия: учеб. пособие для машиностроит. спец. вузов / В.В. Фролов.– 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1986.
6. Неницеску, К.Д. Общая химия / К.Д. Неницеску; пер. с румынского. - М.: Мир, 1968.
7. Дикерсон, Р. Основные законы химии: В 2 т. / Р. Дикерсон, Г. Грей, Дж. Хейт; пер. с англ. - М.: Мир, 1982.
8. Краткий справочник физико-химических величин. - Изд. 8-е, перераб. /Под ред. А.А. Равделя, А.М. Пономарёвой. – Л.: Химия, 1983.
9. Физические величины / Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. - М.: Атомиздат, 1991.

Составители:

Фомина Надежда Александровна

Манин Николай Геннадьевич

Гречин Олег Вячеславович

Лёвочкина Галина Николаевна

## **ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОХИМИИ**

Методические указания

к практическим работам

для студентов

нехимических специальностей

Редактор В.Л. Родичева

Подписано в печать 11.02.2009. Формат 60x84 1/16. Бумага писчая.

Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 3,10. Тираж 150 экз. Заказ

ГОУ ВПО Ивановский государственный  
химико-технологический университет.

Отпечатано на полиграфическом оборудовании  
кафедры экономики и финансов ГОУ ВПО «ИГХТУ»

153000 г. Иваново, пр. Ф.Энгельса, 7