

Краевой конкурс учебно-исследовательских и проектных работ учащихся
«Прикладные вопросы математики»

Прикладные вопросы математики

Гальванические элементы тока

Полушкин Глеб, Журавлев Станислав
МОУ «Лицей №1» г. Перми, 10 кл.
Саввина М.В.

Содержание:

Содержание:	2
1. История изобретения гальванического элемента	3
2. Гальванический элемент	7
2.1 Типы гальванических элементов:	9
3. Электрохимический потенциал	10
3.1. Стандартные электродные потенциалы	10
3.2. Гальванические элементы	13
3.3. Концентрационная цепь	16
4. Практическое задание	17

1. История изобретения гальванического элемента



Важнейшим шагом вперед в развитии учения об электрических и магнитных явлениях было изобретение первого источника постоянного тока - гальванического элемента. История этого изобретения начинается с работ итальянского врача Луиджи Гальвани (1737-1798), относящихся к концу XVIII в.

Гальвани интересовался физиологическим действием электрического разряда. Начиная с 80-х гг. XVIII столетия, он предпринял ряд опытов для выяснения действия электрического разряда на мускулы препарированной лягушки. Однажды он обнаружил, что при проскакивании искры в электрической машине или при разряде лейденской банки мускулы лягушки сокращались, если к ним в это время прикасались металлическим скальпелем.

Заинтересовавшись наблюдаемым эффектом, Гальвани решил проверить, не будет ли оказывать такое же действие на лапки лягушки атмосферное электричество. Действительно, соединив один конец нерва лапки лягушки проводником с изолированным шестом, выставленным на крыше, а другой конец нерва с землей, он заметил, что во время грозы время от времени происходило сокращение мускулов лягушки.

Затем Гальвани повесил препарированных лягушек за медные крюки, зацепленные за их спинной мозг, около железной решетки сада. Он обнаружил, что иногда, когда мышцы лягушки касались железной ограды, происходило сокращение мускулов. Причем эти явления наблюдались и в ясную погоду. Следовательно, решил Гальвани, в данном случае уже не гроза является причиной наблюдаемого явления.

Для подтверждения этого вывода Гальвани проделал подобный опыт в комнате. Он взял лягушку, у которой спинной нерв был соединен с медным крючком, и положил ее на железную дощечку. Оказалось, что когда медный крючок касался железа, то происходило сокращение мускулов лягушки.

Гальвани решил, что открыл «животное электричество», т. е. электричество, которое вырабатывается в организме лягушки. При замыкании нерва лягушки посредством медного крюка и железной дощечки образуется замкнутая цепь, по которой пробегает электрический заряд (электрическая жидкость или материя), что и вызывает сокращение мускулов.

Открытием Гальвани заинтересовались и физики и врачи. Среди физиков был соотечественник Гальвани Алессандро Вольта. (1745 - 1827). Вольта повторил опыты Гальвани, а затем решил проверить, как будут себя вести

Пермь 2009.

мускулы лягушки, если через них пропустить не («животное электричество»), а электричество, полученное каким-либо из известных способов. При этом он обнаружил, что мускулы лягушки так же сокращались, как и в опыте Гальвани.

Проделав такого рода исследования, Вольт пришел к выводу, что лягушка является только («прибором»), регистрирующим протекание электричества, что никакого особого «животного электричества» не существует.

Почему же все-таки в опыте Гальвани мускулы лягушки регистрируют протекание электрического разряда? Что является в данном случае источником электричества? Вольт предположил, что причиной электричества является контакт двух различных металлов.

Нужно отметить, что уже Гальвани заметил зависимость силы судорожного сжатия мускулов лягушки от рода металлов, образующих цепь, по которой протекает электричество. Однако Гальвани не обратил на то серьезного внимания. Вольт же, наоборот, усмотрел в нем возможность построения новой теории.

Не согласившись с теорией «животного электричества», Вольт выдвинул теорию «металлического электричества». По этой теории причиной гальванического электричества является соприкосновение различных металлов.

В каждом металле, считал Вольт, содержится электрическая жидкость (флюид), которая, когда металл не заряжен, находится в покое и себя не проявляет. Но если соединить два различных металла, то равновесие электричества внутри них нарушится: электрическая жидкость придет в движение. При этом электрический флюид в некотором количестве перейдет из одного металла в другой, после чего равновесие вновь восстановится. Но в результате этого металлы наэлектризуются: один - положительно, другой - отрицательно.

Эти соображения Вольт подтвердил на опыте. Ему удалось показать, что действительно при простом соприкосновении двух металлов один из них приобретает положительный заряд, а другой отрицательный. Таким образом, Вольт открыл так называемую контактную разность потенциалов. Вольт продлевал следующий опыт. На медный диск, прикрепленный к обыкновенному электроскопу вместо шарика, он помещал такой же диск, изготовленный из другого металла и имеющий рукоятку. Диски при наложении в ряде мест приходили в соприкосновение. В результате этого между дисками появлялась контактная разность потенциалов (по терминологии Вольты, между дисками возникала «разность напряжений»). Для того чтобы обнаружить «разность напряжений», появляющуюся при соприкосновении различных металлов, которая, вообще говоря, мала (порядка 1В), Вольт поднимал верхний диск и тогда листочки электроскопа заметно расходились. Это вызывалось тем, что емкость конденсатора, образованного дисками, уменьшалась, а разность потенциалов между ними во столько же раз увеличивалась.

Пермь 2009.

Но открытие контактной разности потенциалов между различными металлами еще не могло объяснить опытов Гальвани с лягушками. Нужны были дополнительные предположения.

Составим обычную замкнутую цепь проводников из разных металлов. Несмотря на то что между этими металлами возникает разность потенциалов, постоянного течения электричества по цепи не получается. Это сразу понятно для простейшего случая двух металлов. Возьмем, например, два куска медной и цинковой проволоки и соединим их концы. Тогда одна из них (цинковая), зарядится отрицательным электричеством, а медная - положительным. Если теперь соединить и другие концы этих проволок, то и в этом случае второй конец цинковой проволоки будет электризоваться отрицательно, а соответствующий конец медной проволоки положительно. И постоянного течения электричества в цепи не получится.

Но на опыте Гальвани соединялись не только металлы. В цепь включались и мышцы лягушки, содержащие и себе жидкость. Вот в этом и заключается все дело - решил Вольт.

Он предположил, что все проводники следует разбить на два класса: проводники первого рода - металлы и некоторые другие твердые тела и проводники второго рода - жидкости. При этом Вольт решил, что разность потенциалов возникает только при соприкосновении проводников первого рода.

Такое предположение объясняло опыт Гальвани. В результате соприкосновения двух различных металлов нарушается равновесие в них электричества. Это равновесие восстанавливается в результате того, что металлы соединяются через тело лягушки. Таким образом электрическое равновесие все время нарушается и все время восстанавливается, значит, электричество все время движется.

Такое объяснение опыта Гальвани неверно, но оно натолкнуло Вольту на мысль о создании источника постоянного тока - гальванической батареи. И вот в 1800 г. Вольт построил первую гальваническую батарею - Вольтов столб.

Вольтов столб состоял из нескольких десятков круглых серебряных и цинковых пластин, положенных друг на друга. Между парами пластин были проложены картонные кружки, пропитанные соленой водой. Такой прибор служил источником непрерывного электрического тока.

Интересно, что в качестве довода о существовании непрерывного электрического тока Вольт опять-таки привлекал непосредственные ощущения человека. Он писал, что если крайние пластины замкнуты через тело человека, то сначала, как и в случае с лейденской банкой, человек испытывает удар и покалывание. Затем возникает ощущение непрерывного жжения, «которое не только не утихает, - говорит Вольт, - но делается все сильнее и сильнее, становясь скоро невыносимым, до тех пор, пока цепь не разомкнется».

Изобретение Вольтова столба - первого источника постоянного тока - имело огромное значение для развития учения об электричестве и магнетизме. Что

же касается объяснения действия этого прибора Вольта, то оно, как мы видели, было ошибочным. Это вскоре заметили некоторые ученые. Действительно, по теории Вольта получалось, что с гальваническим элементом во время его действия не происходит никаких изменений. Электрический ток течет по проволоке, нагревает ее, может зарядить лейденскую банку и т. д., но сам гальванический элемент при этом остается неизменным. Но такой прибор является не чем иным, как вечным двигателем, который, не изменяясь, производит изменение в окружающих телах, в том числе и механическую работу.

К концу XVIII в. среди ученых уже широко распространилось мнение о невозможности существования вечного двигателя. Поэтому многие из них отвергли теорию действия гальванического элемента, придуманную Вольта. В противовес теории Вольта была предложена химическая теория гальванического элемента. Вскоре после его изобретения было замечено, что в гальваническом элементе происходят химические реакции, в которые вступают металлы и жидкости. Правильная химическая теория действия гальванического элемента вытеснила теорию Вольта.

После открытия Вольтова столба ученые разных стран начали исследовать действия электрического тока. При этом совершенствовался и сам гальванический элемент. Уже Вольта наряду со «столбом» стал употреблять более удобную чашечную батарею гальванических элементов. Для исследования действий электрического тока стали строить батареи со все большим и большим числом элементов.

Наиболее крупную батарею в самом начале XIX в. построил русский физик Василий Владимирович Петров (1761 - 1834) в Петербурге. Его батарея состояла из 4200 цинковых и медных кружков. Кружки укладывались в ящик горизонтально и разделялись бумажными прокладками, пропитанными нашатырем. Батарея Петрова была описана им в его книге («Известия о Гальвани-Вольтовых опытах», вышедшей в России в 1803 г.

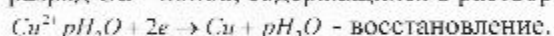
Первые шаги в изучении электрического тока относились к его химическим действиям. Уже в том же году, в котором Вольта изобрел гальваническую батарею, было открыто свойство электрического тока разлагать воду. Вслед за этим было произведено разложение электрическим током растворов некоторых солей. В 1807 г. английский химик Дэви путем электролиза расплавленных щелочей открыл новые элементы: калий и натрий. Исследование химического действия тока и выяснение химических процессов, происходящих в гальванических элементах, привело ученых к разработке теории прохождения электрического тока через электролиты.

2. Гальванический элемент

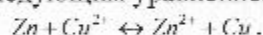
Если два электрода, химическая активность которых различна, например цинк и медь, погрузить в раствор соли, например сульфатов, и соединить внешним проводником с включенным прибором (лампочка, гальванометр), то во внешней цепи будет фиксироваться электрический ток.

В этом случае металл большей химической активности (в нашем примере цинк) под действием гидратации посылает свои ионы в раствор: $Zn + mH_2O \leftrightarrow Zn^{2+} mH_2O + 2e^-$ - окисление. Электроны накапливаются на цинке и заряжают его отрицательно. При соединении цинка с медью внешним проводником электроны переходят от цинка, где они находятся в избытке, к медному электроду, в котором их недостает. Переход электронов приводит к нарушению равновесия на границе обоих металлов с окружающими их растворами. Вследствие этого с цинковой пластинки повые количества ионов Zn^{2+} переходят в раствор.

Под следствием пришедших на медь электронов на медном электроде происходит разряд Cu^{2+} ионов, содержащихся в растворе:



Суммарная реакция, протекающая в гальваническом элементе, может быть выражена следующим уравнением:



Ионы цинка, перешедшие в раствор, остаются вблизи поверхности цинковой пластинки и препятствуют растворению следующих слоев цинка, так как одноименно заряженные частицы отталкиваются.

В гальваническом элементе электическая энергия возникает за счет изменения свободной энергии системы, т.е.

$$-\Delta Z = nF \cdot E,$$

где ΔZ – изменение термодинамического потенциала (свободной энергии) системы;

$n \cdot F \cdot E$ – электрическая энергия;

n – число электронов, участвующих в электрохимическом процессе;

F – постоянная Фарадея;

E – электродвижущая сила гальванического элемента.

Работа гальванического элемента связана с протеканием тока через его электроды. При этом потенциал анода вследствие ухода с него электронов становится более положительным, чем в состоянии равновесия; а потенциал катода, напротив, – более отрицательным: сюда поступают электроны. Это отклонение потенциала анода и катода при протекании тока от равновесного его значения называется поляризацией (анодной – $\Delta\phi_a$, катодной – $\Delta\phi_k$, соответственно).

За счет поляризации катода и анода напряжение, снимаемое с гальванического элемента, всегда меньше ЭДС, вычисленной на основании равновесных потенциалов.

Поляризация имеет двойное значение – отрицательное и положительное. Смещая электродные потенциалы – катодный в сторону отрицательных значений, анодный в сторону положительных, поляризация уменьшает напряжение, снимаемое с гальванического элемента, снижая его качество как источника тока.

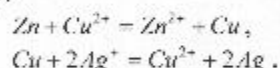
Снижая напряжение гальванического элемента, являющегося источником разрушения металлов в процессе электрохимической коррозии, поляризация оказывает полезное действие, так как вследствие торможения катодного и анодного процесса коррозия со временем затухает.

Гальванические элементы широко применяются в технике. Так, в 1940 г. было известно около 40 видов гальванических элементов, шесть из них использовались в промышленности. В настоящее время разработано более 600 типов гальванических элементов, применяются в промышленности – 54. Гальванический элемент используется там, где моторные генераторы не применимы: в подводных лодках, ракетах, спутниках, в условиях Арктики и Антарктики и т.д.

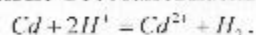
Ряд стандартных потенциалов, называемый также рядом напряжений, точно соответствует "вытеснительному ряду" открытому Н.Н. Бекетовым в шестидесятых годах 19(20? века). Так как стандартный потенциал характеризует химическую активность металла, то ряд напряжений часто называется рядом активности. Для ряда напряжений характерны следующие особенности:

1. Каждый из находящихся в этом ряду металлов вытесняет из растворов их солей все металлы, которые следуют за ними.

Например:



2. Все металлы, стоящие в ряду напряжений до водорода, т.е. имеющие отрицательный нормальный потенциал, вытесняют газообразный водород (точнее гидроксоний – ионы H_3O^+). В этих реакциях протекает следующий окислительно-восстановительный процесс:



Здесь более активный металл играет роль восстановителя, а ионы металлов и ионы водорода – роль окислителя.

2.1 Типы гальванических элементов:

- Багдадская батарейка
- Бром-Серебряный элемент
- Висмутисто-магниевый элемент
- Воздушно-цинковый элемент
- Гальванический элемент
- Диокисульфатно-ртутный элемент
- Иод-серебряный элемент
- Иодатно-цинковый элемент
- Кальций-хроматный элемент
- Литий-висмутатный элемент
- Литий-двуокисномарганцевый элемент
- Литий-двуокисносерный элемент
- Литий-иодный элемент
- Литий-иодсвинцовый элемент
- Литий-окисномедный элемент
- Литий-оксидванадиевый элемент
- Литий-тионилхлоридный элемент
- Литий-фторомедный элемент
- Литий-хромсеребряный элемент
- Магний-ванадиевый элемент

- Магний-м-ДПБ элемент
- Магний-перхлоратный элемент
- Марганцево-магниевый элемент
- Марганцево-оловянный элемент
- Марганцево-цинковый элемент
- Медно-окисный гальванический элемент
- Окисно-ртутно-оловянный элемент
- Ртутно-висмутисто-индиевый элемент
- Ртутно-кадмиевый элемент
- Ртутно-цинковый элемент
- Свинцово-кадмиевый элемент
- Свинцово-плавиковый элемент
- Свинцово-хлорный элемент
- Свинцово-цинковый элемент
- Серно-магниевый элемент
- Хлор-Серебряный элемент
- Хлористомедно-магниевый элемент

Пермь 2009.

- Хлористосвинцово-магнийевый элемент
- Хлорсеребряно-магнийевый элемент
- Хром-цинковый элемент
- Цинк-хлоросеребряный эле

3. Электрохимический потенциал

3.1. Стандартные электродные потенциалы

В качестве электрода сравнения (эталона) принят нормальный водородный электрод, устройство которого схематически представлено на рисунке 3 .



Рис.1 Стандартный водородный электрод

В сосудик наливают раствор серной кислоты концентрации равной $[H^+] = 1$ моль /л. В кислоту опускают платиновую пластинку, покрытую губчатой платиной, сильно увеличивающей поверхность металла. Пластинку насыщают водородом, поступающим в полуэлемент под давлением 101 кПа. Разность потенциалов на границе платина - водород ($Pt, H_2 / 2H^+$), имеет определенную величину, которую условно принимают равной нулю.

Составим гальваническую цепь, состоящую из нормального водородного электрода (левый полуэлемент) и испытуемого металла, например меди (правый полуэлемент)

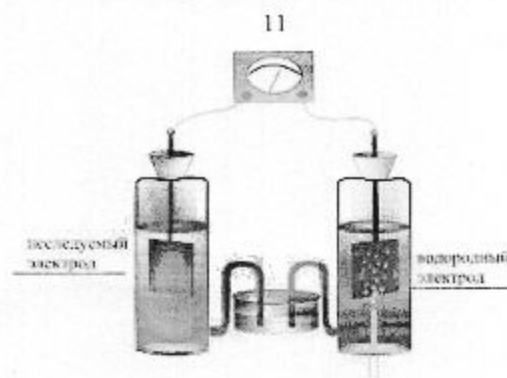


Рис.2 Определение стандартных электродных потенциалов металлов

Различие величин электродных потенциалов ($\text{Pt, H}^+ / 2\text{H}^+$) и $\text{Cu} / \text{Cu}^{2+}$ может быть определено только опытным путем. Полученная при токе внешней цепи равном нулю, характеризует собой напряжение данного гальванического элемента при токе равном нулю.

Обозначив напряжение через ξ получаем:

$$\xi = \varphi_1^{\circ} - \varphi_2^{\circ}$$

где φ_1° - электродный потенциал более благородного, а φ_2° - менее благородного металла, или $\xi = \varphi^{\circ}(\text{Cu} / \text{Cu}^{2+}) - \varphi^{\circ}(\text{Pt, H}_2 / 2\text{H}^+)$.

Относительные электродные потенциалы металлов называют стандартными и обозначаются через ξ° .

Таблица

Стандартные электродные потенциалы φ° некоторых металлов (ряд напряжения)

Электрод φ° , В	Электрод φ° , В	Электрод φ° , В
Li^+ / Li -3,045	$\text{Mn}^{2+} / \text{Mn}$ -1,18	$2\text{H}^+ / \text{H}_2$ 0,000
Rb^+ / Rb -2,925	$\text{Cr}^{2+} / \text{Cr}$ -0,913	$\text{Sb}^{3+} / \text{Sb}$ +0,20
K^+ / K -2,924	$\text{Zn}^{2+} / \text{Zn}$ -0,763	$\text{Bi}^{3+} / \text{Bi}$ +0,215
Cs^+ / Cs -2,923	$\text{Cr}^{3+} / \text{Cr}$ -0,74	$\text{Cu}^{2+} / \text{Cu}$ +0,34
$\text{Ba}^{2+} / \text{Ba}$ -2,90	$\text{Fe}^{2+} / \text{Fe}$ -0,44	Cu^+ / Cu +0,52
$\text{Ca}^{2+} / \text{Ca}$ -2,87	$\text{Cd}^{2+} / \text{Cd}$ -0,403	$\text{Hg}_2^{2+} / 2\text{Hg}$ +0,79
Na^+ / Na -2,714	$\text{Co}^{2+} / \text{Co}$ -2,77	Ag^+ / Ag +0,80
$\text{Mg}^{2+} / \text{Mg}$ -2,37	$\text{Ni}^{2+} / \text{Ni}$ -0,25	$\text{Hg}^{2+} / \text{Hg}$ +0,85
$\text{Al}^{3+} / \text{Al}$ -0,70	$\text{Sn}^{2+} / \text{Sn}$ -0,136	$\text{Pt}^{2+} / \text{Pt}$ +1,19

Пермь 2009.

Ti^{2+}/Ti	-1,603	Pb^{2+}/Pb	-0,127	Au^{3+}/Au	+1,50
Zr^{4+}/Zr	-1,58	Fe^{3+}/Fe	-0,037	Au^+/Au	+1,70

Стандартным называют электродный потенциал металла, измеренный относительно стандартного водородного электрода при условии, что концентрация свободных гидратированных катионов испытуемого металла равна 1 моль/л.

Опытным путем можно не только найти величину напряжения гальванической цепи, но и определить направление электрического тока и установить знак стандартного электродного потенциала металла. Так стандартный потенциал меди считается положительным и равен

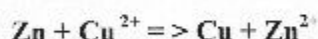
$$\varphi^{\circ}(Cu/Cu^{2+}) = +0,34 \text{ в.}$$

Если в качестве второго электрода возьмем цинковый электрод, опущенный в раствор сульфата цинка, то напряжение приведенной цепи будет равна - 0,76 в.

Располагая металлы в ряд по алгебраической величине их нормальных электродных потенциалов, получим так называемый ряд напряжений металлов, который представляет собой количественную электрохимическую характеристику металлов.

На основании ряда напряжений можно сделать два практически важных вывода:

1. Металлы, обладающие отрицательным электродным потенциалом, способны вытеснять менее активные металлы (с более положительным потенциалом) из водных растворов их солей. Например, взаимодействие



протекает только слева направо, т.е. чем ниже алгебраическая величина электродного потенциала металла, тем лучшим донором электронов является его атом, тем выше восстановительная способность этого металла и наоборот, чем выше величина электродного потенциала, тем более активным акцептором электронов является его катион, тем сильнее проявляется его окислительная способность.

2. Металлы, вступающие в качестве отрицательного электрода по отношению к водородному, вытесняют водород из кислот.

Пермь 2009.

3.2. Гальванические элементы

Два металла, погруженные в растворы их солей, соединенные между собой электролитическим ключом, образуют **гальванический элемент**

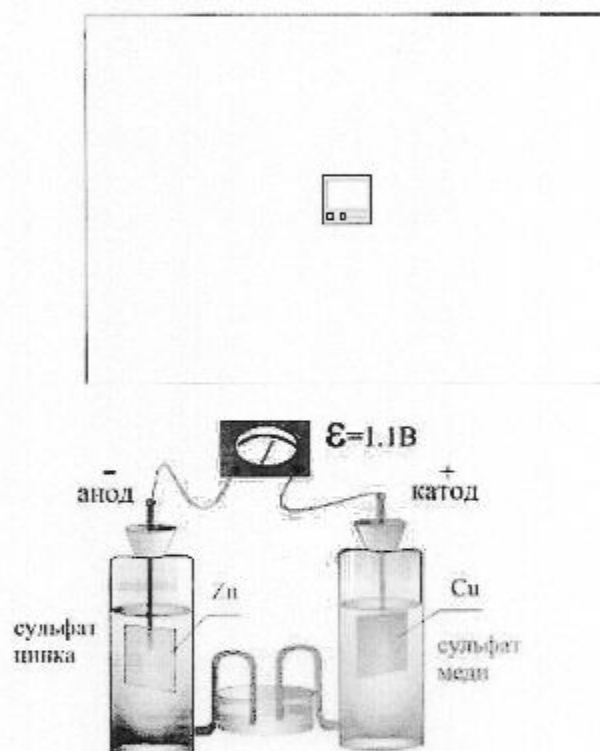
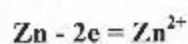


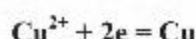
Рис.3 Гальванический элемент

Возникновение электрического тока гальваническом элементе обусловлено разностью электродных потенциалов взятых металлов и сопровождается глубокими химическими превращениями, протекающими на электродах. Покажем это на примере работы медно - цинкового элемента.

На цинковом электроде, опущенном в раствор сульфата цинка, происходит окисление атомов цинка в ионы (растворение цинка):

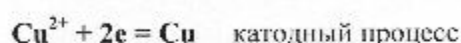
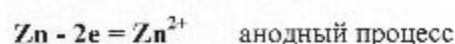


электроны при этом поступают во внешнюю цепь. На медном электроде, погруженном в раствор сульфата меди, происходит восстановление ионов металла в атомы:

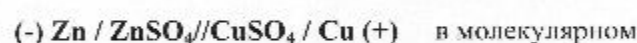
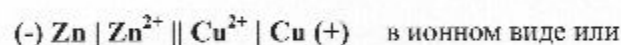


Одновременно часть ионов SO_4^{2-} переходит через "электролитический мостик" в сосуд с раствором сульфата цинка,

Суммарное уравнение процесса получим:



Электрод, на котором протекает процесс окисления, называется **анодом** (в нашем случае цинковый), а электрод, на котором протекает процесс восстановления - **катодом** (медный). Гальванический элемент можно записать в виде краткой электрохимической схемы:



Обычно анод записывается слева, а катод - справа.

Необходимым условием работы гальванического элемента возникновение разности потенциалов на его электродах.

При вычислении напряжения гальванического элемента принято потенциал с меньшей алгебраической величиной вычитать из потенциала с большей алгебраической величиной; другими словами, из потенциала положительного полюса (катада) вычитать потенциал отрицательного (анода)

$$\xi = \varphi^{\circ}_{\text{катод}} - \varphi^{\circ}_{\text{анод}}$$

Напряжение медно - цинкового гальванического элемента определяется

$$\xi = \varphi^{\circ}_{\text{Cu}/\text{Cu}^{2+}} - \varphi^{\circ}_{\text{Zn}/\text{Zn}^{2+}} = (+0,34) - (-0,76) = +1,10 \text{ в}$$

Положительный знак напряжения определяет направление самопроизвольного протекания реакции слева направо. Как известно, движущей силой химической реакции является убыль энергии Гиббса. Для реакций, осуществляемых в условиях гальванического элемента, работа, производимая системой, равна работе электрического тока:

Пермь 2009.

$$A = IUt = QU$$

где I - ток в цепи;

U - падение напряжения;

t - время;

Q - количество электричества

В случае, если реакция протекает обратимо в равновесных условиях, $U = E$ (напряжение элемента равно напряжению на электродах при токе равно нулю) и работа будет максимальная:

$$A_{\max} = QE$$

Для одного моля вещества, вступающего в реакцию, $Q = nF$, где n - число электронов, принимаемых или отдаваемых веществом; $F = 96500$ Кл/моль, число Фарадея, это количество электричества, необходимое для выделения 1 моль вещества. С учетом этого можно записать:

$$\Delta G = A_{\max} = nF \xi$$

В стандартных условиях: $\Delta G = -nF \xi$.

Взаимосвязь между напряжением гальванического элемента и значением ΔG дает возможность непосредственно определить величину ΔG .

Для медно - цинкового элемента

$$A_{\max} = -\Delta G_{298}^{\circ} + 2 \cdot 96500 \cdot 1,1 = 212300 \text{ Дж} = 212,3 \text{ кДж}$$

Это значение ΔG совпадает с измеренной стандартной энтальпией для этой реакции, равной -212,3 кДж. Большое влияние на величину электродного потенциала оказывает концентрация катионов, одноименных с металлом электрода. Электродный потенциал с учетом этого влияния вычисляется по формуле Нернста:

$$\varphi = \varphi^{\circ} + (RT/nF) \ln C$$

где φ° - нормальный потенциал металла, В;

n - его валентность (ряд иона металла);

C - концентрация катионов этого же металла в моль /л;

Для газообразных веществ под знаком логарифма вместо C_i входят парциальные давления соответствующих веществ. Учитывая, что обычно гальванические элементы работают при стандартных условиях, уравнение Нернста можно записать:

$$\varphi = \varphi^{\circ} + (0,059/n) \lg C$$

3.3. Концентрационная цепь.

В концентрационных цепях электроды и электролит - одинаковой природы. Напряжение в гальваническом элементе возникает за счет разности концентраций электролитов в обоих полуэлементах.

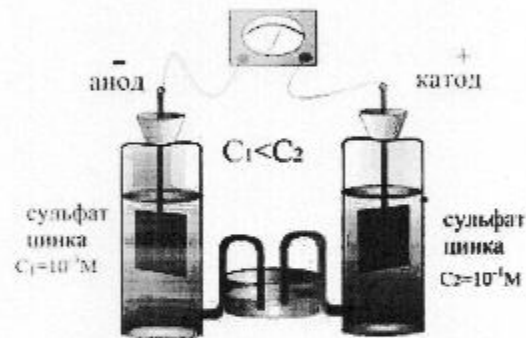


Рис.4 Концентрационный гальванический элемент