

Научно-методическое учреждение  
«Национальный институт образования»  
Министерства образования Республики Беларусь  
Лицей Белорусского государственного университета

Методические рекомендации к проведению  
факультативных занятий

## **ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И ХИМИЯ**

по учебному предмету «Химия»  
X (XI) класс

Минск

Авторы-составители: Мычко Д. И., Шелягович М.Ю., Шитько Л. И.

Рукопись содержит методические рекомендации к организации практических работ и ученических исследований в рамках факультативных занятий «Электричество и химия». Материалы могут быть использованы и на уроках химии при изучении электролиза водных растворов солей и окислительно-восстановительных процессов.

К рукописи имеются видеоприложения, размещенные на YouTube, просмотр которых поможет учителю организовать процесс обучения.

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Содержание факультативных занятий «Электричество и химия» предусматривает рассмотрение связи между электричеством и химическими процессами [1]. Эта связь очевидна при рассмотрении строения атома и объяснении свойств химических элементов, в рассмотрении строения вещества и механизмов протекания химических реакций. Эта связь имеет и технологическое значение, поскольку находит свое применение в химических источниках тока, в процессах электролиза, в различных гальванических производствах. Многие процессы, протекающие в живых организмах, также имеют электрохимическую природу.

Предлагаемые методические рекомендации помогут организовать экспериментальную деятельность учащихся в рамках указанного факультатива. Это сделает наглядными полученные теоретические знания, позволит развить у учащихся опыт экспериментальной и исследовательской деятельности.

Методические рекомендации состоят из двух частей. В первой части даны инструкции для учащихся, в которых содержится описание действий, последовательность которых позволит успешно выполнить экспериментальные задания. Здесь же содержатся проблемные вопросы, поиск ответа на которые побудит учащихся еще раз обратиться к теоретическим знаниям и их более глубоко осмыслить. Во второй части пособия приведены методические рекомендации для учителей, которые направлены на более эффективную организацию экспериментальной деятельности учащихся.

Все предлагаемые работы могут быть реализованы в трех формах: практических работ, демонстраций и ученических исследований. Это расширяет возможности их использования. Они могут быть использованы не только на факультативных занятиях, но и на уроках при организации обучения химии по учебным программа «Химия» как для базового, так и профильного уровней по темам «Химические реакции», «Химия растворов», «Металлы».

В конце приведен список литературы, которая позволит познакомиться с теоретическими основами выполняемых практических работ.

К рукописи имеются видеоприложения к практическим работам, просмотр которых поможет учителю организовать процесс обучения (список видеоприложений и их просмотр доступны по ссылке: <https://www.youtube.com/playlist?list=PLIwgKzU5ZmgTOzQTafiuvtKBJXqh7RJB5>).

Все предлагаемые работы авторами отработаны и адаптированы к условиям школы, а также апробированы в учебном процессе.

# I. Инструкции к практическим работам

## Инструкция к практической работе №1

### Электролиз раствора сульфата меди (II)

**Вспомните правила безопасного поведения при работе с химическими реактивами и лабораторным оборудованием!**

**Цель работы:** исследовать электродные процессы при электролизе раствора сульфата меди (II); сопоставить результаты эксперимента с теоретическими представлениями; научиться записывать уравнения реакций, происходящих на аноде и катоде при электролизе.

**Оборудование и реактивы:** штатив, U-образная трубка, источник питания постоянного тока на 9-12В, соединительные провода с зажимами, графитовые стержни, резиновые пробки, раствор сульфата меди (II) с молярной концентрацией вещества 0,1 моль/л.

#### Ход работы

##### 1. Подготовка прибора и сбор электрохимической цепи по схеме

Электролиз водных растворов проводят в приборе, схема которого изображена на рис. 1. Электролизером является стеклянная U-образная трубка 1.

Стеклянную U-образную трубку 1 закрепите в штативе 2. Электролизер заполните раствором сульфата меди (II) на 2/3 объема. В электролизер опустите электроды 3, в качестве которых служат графитовые стержни, закрепленные в резиновых пробках. Электроды с помощью соединительных проводов присоедините к источнику питания 4, на котором поддерживается напряжение постоянного тока 9-12В.

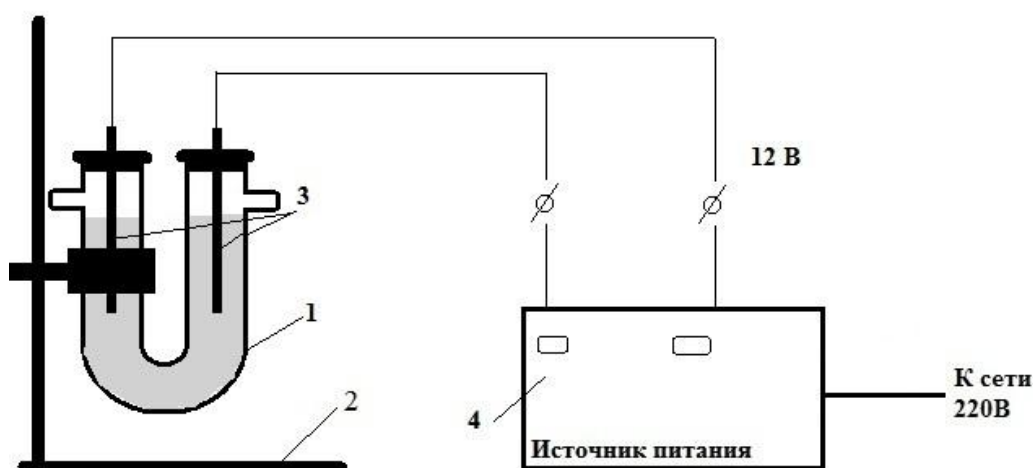


Рис. 1. Схема прибора для электролиза: 1 – электролизер; 2 – штатив; 3 – электроды (графитовые стержни); 4 – источник питания.

##### 2. Проведение электролиза

Включите источник питания и пропускайте через раствор сульфата меди (II) постоянный электрический ток. Через 5–10 минут отключите источник питания и извлеките из электролизёра графитовые электроды.

### 3. Результаты работы

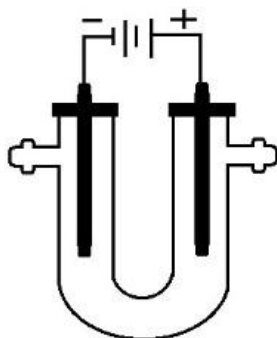
Изобразите на рисунке наблюдаемые явления и опишите свои наблюдения.

Что происходит на аноде и на катоде?

---

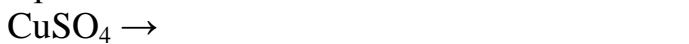
---

---



Составьте уравнения химических реакций, происходящих в растворе и на электродах при электролизе.

Уравнение диссоциации:



Частицы в электродном пространстве:

**Катод(-):** \_\_\_\_\_

**Анод(+):** \_\_\_\_\_

Уравнения реакций, происходящих на аноде и катоде:

**Катод(-):** \_\_\_\_\_

**Анод(+):** \_\_\_\_\_

Суммарное уравнение процесса электролиза:

Продукты электролиза: \_\_\_\_\_

**Вывод:** \_\_\_\_\_

## Инструкция к практической работе №2

### Электролиз раствора иодида калия

**Вспомните правила безопасного поведения при работе с химическими реактивами и лабораторным оборудованием!**

**Цель работы:** исследовать электродные процессы при электролизе раствора иодида калия; сопоставить результаты эксперимента с теоретическими представлениями; научиться записывать уравнения реакций, происходящих на аноде и катоде при электролизе.

**Оборудование и реактивы:** штатив, U-образная трубка, источник питания постоянного тока на 9-12В, соединительные провода с зажимами, графитовые стержни, резиновые пробки, раствор иодида калия с молярной концентрацией вещества 0,1 моль/л.

### Ход работы

#### 1. Подготовка прибора и проведение электролиза

Соберите прибор по схеме, представленной на рис. 1. Электролизер заполните на 2/3 объема раствором иодида калия, опустите графитовые электроды и с помощью соединительных проводов присоедините к

источнику питания. Пропускайте электрический ток. Через 3-5 минут отключите ток и извлеките электроды. В катодное пространство прилейте 2-3 капли раствора фенолфталеина, а в анодное пространство – 2-3 капли крахмального клейстера.

## 2. Результаты работы

Изобразите на рисунке и опишите свои наблюдения.

*Что наблюдается на электродах? Какое вещество дает синее окрашивание в реакции с крахмальным клейстером? В какой среде фенолфталеин окрашивается в малиновый цвет? Сделайте вывод о процессах, проходящих на электродах и об образующихся веществах в растворе при электролизе*

---

---

Составьте уравнения химических реакций, происходящих в растворе и на электродах при электролизе.

Уравнение диссоциации:



Частицы в электродном пространстве:

**Катод(-):** \_\_\_\_\_

**Анод(+):** \_\_\_\_\_

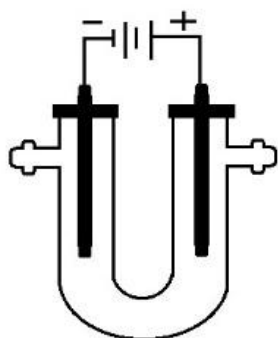
Уравнения реакций, происходящих на аноде и на катоде:

**Катод(-):** \_\_\_\_\_

**Анод(+):** \_\_\_\_\_

Суммарное уравнение процесса электролиза:

\_\_\_\_\_



Продукты электролиза: \_\_\_\_\_

**Вывод:** \_\_\_\_\_

---

---

## Инструкция к практической работе №3 Электролиз раствора хлорида калия

**Вспомните правила безопасного поведения при работе с химическими реактивами и лабораторным оборудованием!**

**Цель работы:** исследовать электродные процессы при электролизе раствора хлорида калия; сопоставить результаты эксперимента с теоретическими представлениями; научиться записывать уравнения реакций, происходящих на аноде и катоде при электролизе.

**Оборудование и реактивы:** штатив, U-образная трубка, источник питания постоянного тока на 9-12В, соединительные провода с зажимами, графитовые стержни, резиновые пробки, раствор хлорида калия с молярной концентрацией вещества 0,1 моль/л.

### Ход работы

#### 1. Подготовка прибора и проведение электролиза

Соберите прибор по схеме, представленной на рис. 1. Электролизер заполните на 2/3 объема раствором хлорида калия, опустите угольные электроды и с помощью соединительных проводов присоедините к источнику питания. Пропускайте электрический ток. Через 3–5 минут отключите ток и извлеките электроды. В катодное пространство прилейте 2–3 капли раствора фенолфталеина, а в анодное пространство – вначале раствор иодида калия, а затем 2–3 капли крахмального клейстера.

#### 2. Результаты работы

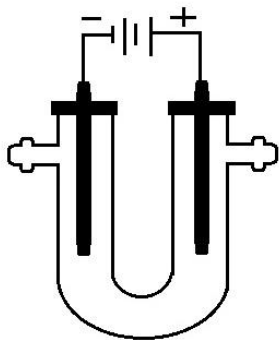
Изобразите на рисунке и опишите свои наблюдения.

*Что наблюдается? Объясните произошедшие изменения в растворе у катода и анода. О чем свидетельствует изменение окраски раствора при добавлении к нему указанных реагентов?*

---

---

---



Составьте уравнения химических реакций, происходящих в растворе и на электродах при электролизе.

Уравнение диссоциации:



Частицы в электродном пространстве:

**Катод(-):** \_\_\_\_\_

**Анод(+):** \_\_\_\_\_

Уравнения реакций, происходящих на аноде и на катоде:

**Катод(-):** \_\_\_\_\_

**Анод(+):** \_\_\_\_\_

Суммарное уравнение процесса электролиза:

Уравнение реакции, происходящей при добавлении раствора KI в анодное пространство:

Продукты электролиза: \_\_\_\_\_

**Вывод:** \_\_\_\_\_

---

---

## Инструкция к практической работе №4 Электролиз раствора сульфата никеля (II)

Вспомните правила безопасного поведения при работе с химическими реактивами и лабораторным оборудованием!

**Цель работы:** исследовать электродные процессы при электролизе раствора сульфата никеля (II); сопоставить результаты эксперимента с теоретическими представлениями; научиться записывать уравнения реакций, происходящих на аноде и катоде при электролизе.

**Оборудование и реактивы:** штатив, U-образная трубка, источник питания постоянного тока на 9-12В, соединительные провода с зажимами, графитовые стержни, резиновые пробки, раствор сульфата никеля (II) с молярной концентрацией вещества 0,1 моль/л.

### Ход работы

#### 1. Подготовка прибора и проведение электролиза

Соберите прибор по схеме, представленной на рис. 1. Электролизер заполните на 2/3 объема раствором  $\text{NiSO}_4$ , опустите угольные электроды и с помощью соединительных проводов присоедините к источнику питания. Пропускайте электрический ток. Через 3-5 минут отключите ток и извлеките электроды.

#### 2. Результаты работы

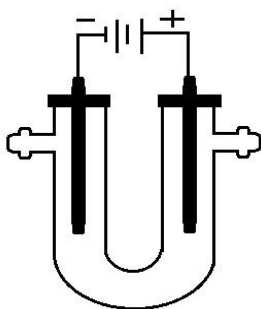
Изобразите на рисунке и опишите свои наблюдения.

*Какие явления происходят на электродах? На каком электроде появляется налет металлического никеля? На каком электроде выделяется газ? Объясните наблюдаемые явления.*

---

---

---



Составьте уравнения химических реакций, происходящих в растворе и на электродах при электролизе.

Уравнение диссоциации:



Частицы в электродном пространстве:

**Катод(-):** \_\_\_\_\_

**Анод(+):** \_\_\_\_\_

Уравнения реакций, происходящих на аноде и на катоде:

**Катод(-):** \_\_\_\_\_

**Анод(+):** \_\_\_\_\_

Продукты электролиза: \_\_\_\_\_

**Вывод:** \_\_\_\_\_

---



## Инструкция к практической работе №5 Построение ряда напряжений металлов

**Вспомните правила безопасного поведения при работе с химическими реактивами и лабораторным оборудованием!**

**Цель работы:** измерить значения окислительно-восстановительных (электродных) потенциалов меди, цинка, олова, свинца, алюминия относительно хлорсеребряного электрода и сопоставить значения этих потенциалов с положением вышеперечисленных металлов в ряду напряжений металлов.

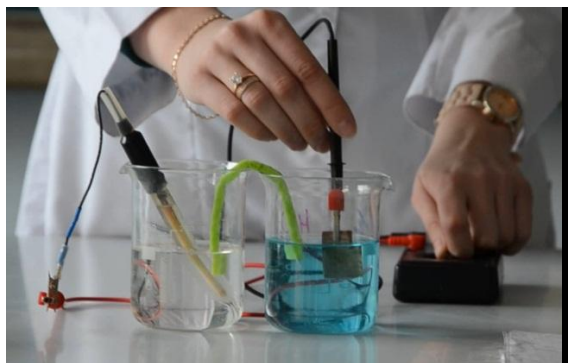
**Оборудование и реактивы:** химические стаканы, хлорсеребряный электрод сравнения, солевой мостик, мультиметр, медная, цинковая, алюминиевая, оловянная, свинцовая пластинки и растворы солей соответствующих металлов ( $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{ZnSO}_4$ ,  $\text{SnCl}_2$ ,  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ ,  $\text{AlCl}_3$ ) с молярной концентрацией вещества 0,1 моль/л.

### Порядок выполнения работы

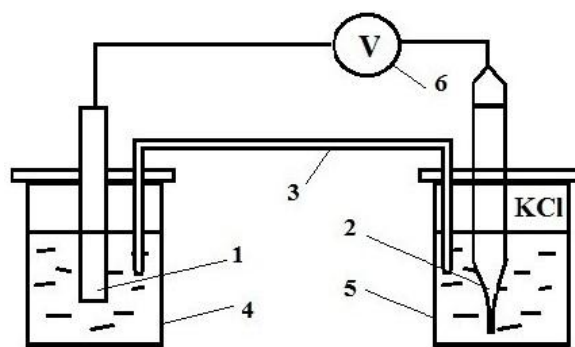
Перед измерениями зачистите наждачной бумагой поверхность металлической пластинки и прикрепите к ней с помощью зажима типа «крокодил» (клипса) черный провод. Наполните стакан на 2/3 раствором соответствующей соли и закрепите в нём металлическую пластинку. Эта конструкция называется полуэлементом или электродом.

Для измерения электродного потенциала соберите гальваническую цепь из двух полуэлементов: хлорсеребряного электрода сравнения (выдаётся учителем) и измеряемого электрода как показано на рис. 2.

Соедините два полуэлемента солевым мостиком (салфетка, смоченная в насыщенном растворе хлорида калия). Исследуемый электрод и хлорсеребряный электрод сравнения с помощью проводников подключите к измерительному прибору (вольтметр, мультиметр с высоким внутренним сопротивлением) и проведите измерения. Результаты занесите в таблицу 1.



а



б

Рис. 2. Фото (а) и схема (б) для измерения электродных потенциалов: 1 – исследуемый электрод; 2 – хлорсеребряный электрод сравнения; 3 – солевой мостик; 4 – стакан с раствором электролита; 5 – стакан с раствором  $\text{KCl}$ ; 6 – измерительный прибор.

При измерении напряжения с помощью мультиметра (рис. 3) выполните следующие действия:

1. Перед началом измерения ручку переключения режима мультиметра установите в положение «OFF» (выключено).

2. Подключите черный и красный щупы в подходящие гнезда (эти гнезда также называют "порты") на передней панели мультиметра: черный щуп должен быть подключен в порт, обозначенный как "COM", красный щуп в порт с меткой "V" (на этом порту могут быть и другие метки).

3. Подключите щупы к схеме: красный щуп к хлорсеребряный электроду сравнения (положительной полюс напряжения), черный к измеряемому электроду

4. При измерении ручку переключения режима мультиметра установите в положение диапазона измерения 2V.

5. По окончании измерения переведите ручку переключения режима мультиметра в положение «OFF».

По завершении измерений электродного потенциала отсоедините от электродов вначале красный щуп, затем черный.

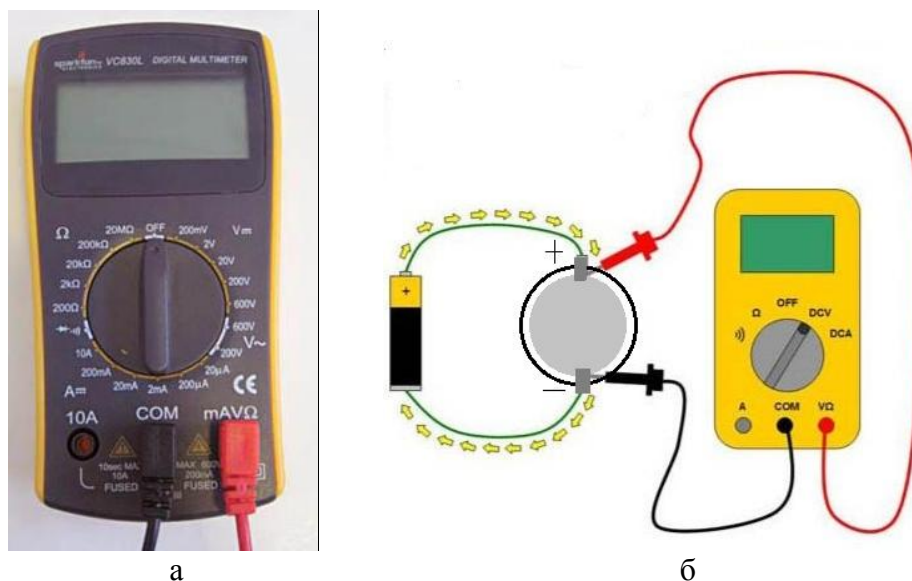


Рис. 3. Мультиметр (а) и способ его подсоединения к схеме (б).

Полученные вами значения электродных потенциалов, измеренные относительно хлорсеребряного электрода сравнения, необходимо перевести в шкалу электродных потенциалов относительно водородного электрода сравнения.

При этом надо иметь в виду, что измеренный вами электродный потенциал равен разности потенциалов между потенциалами хлорсеребряного и измеряемого электрода:

$$\Delta E = E_{\text{ХС}} - E_{\text{ИЗМ}}$$

Используя значение  $E_{xc}$  (равно 0,202 В), рассчитайте потенциалы исследуемых электродов, например:

$$E_{Zn^{2+}/Zn} = \Delta E + E_{xc}.$$

Результаты занесите в таблицу.

Таблица 1

Значения электродных потенциалов

Электрод	$\Delta E, В$	$E, В$
Cu   CuSO <sub>4</sub>		
Zn   ZnSO <sub>4</sub>		
Sn   SnCl <sub>2</sub>		
Pb   Pb(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub>		
Al   AlCl <sub>3</sub>		

Расположите металлы в ряд по увеличению значений их потенциалов: \_\_\_\_\_

**Вывод:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## Инструкция к практической работе №6 Элемент Даниэля-Якоби

**Вспомните правила безопасного поведения при работе с химическими реактивами и лабораторным оборудованием!**

**Цель работы:** собрать гальванический элемент Даниэля-Якоби и изучить возможность его использования для электропитания светодиодной лампочки.

**Оборудование и реактивы:** пластиковый стакан, химические стаканы, зажимы типа «крокодил», медные и цинковые пластинки, растворы сульфата меди и сульфата цинка с молярной концентрацией вещества 0,1 моль/л, раствор хлорида натрия (0,1 моль/л), жидкое мыло, впитывающие салфетки.

### Порядок выполнения работы

Зачистите наждачной бумагой поверхность медных и цинковых пластинок. Наполните стаканы на 2/3 растворами соответствующих солей меди и цинка, закрепите в них с помощью контактов металлические пластинки. Соберите гальванический элемент по схеме, представленной на рис. 4.

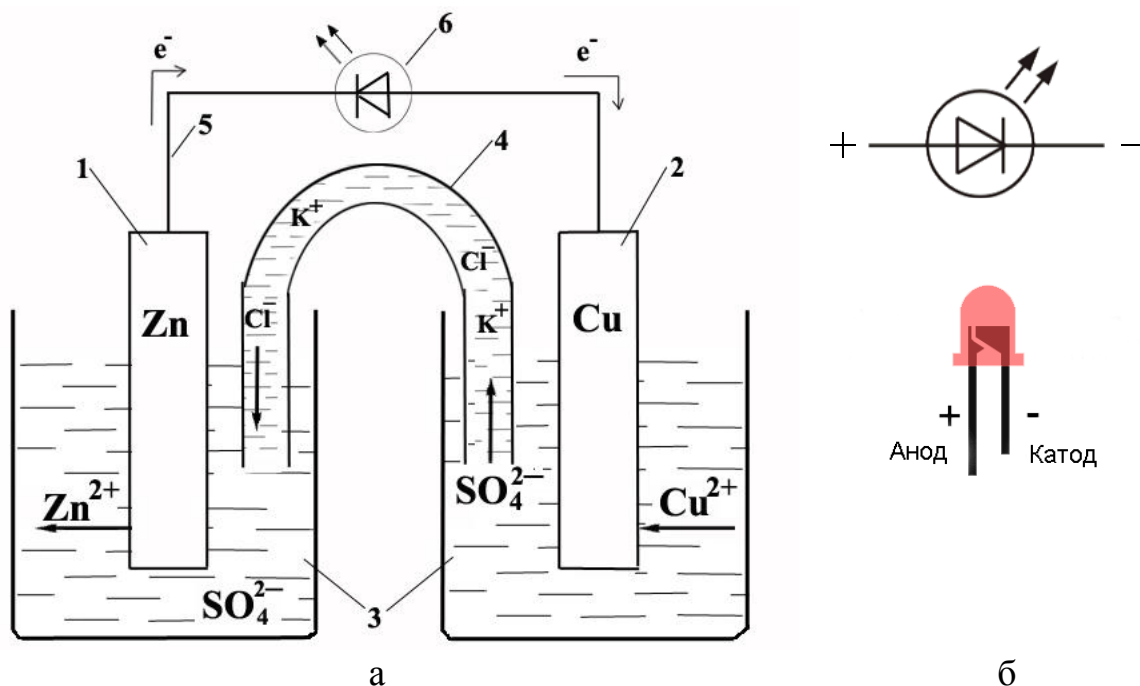


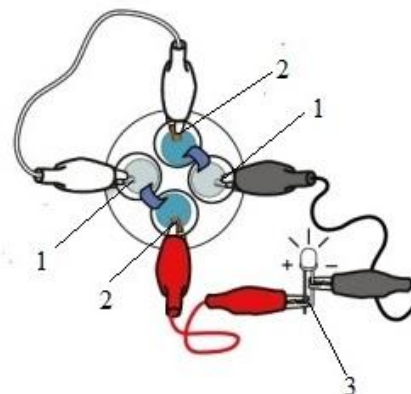
Рис. 4. Схема подключения светодиода к элементу Даниэля-Якоби (а) и обозначение светодиода в электрических схемах (б): 1 – цинковый электрод, 2 – медный электрод; 3 – растворы электролитов; 4 – солевой мостик; 5 – соединительные электропровода с зажимами; 6 – светодиод.

Длинную ножку светодиода с помощью зажима («крокодил») подсоедините к медной пластинке, короткую ножку – к цинковой. Если светодиод не светится, с помощью мультиметра измерьте разность потенциалов между электродами и убедитесь, что она недостаточна для питания светодиода. Для него необходимо 1,6-2 В.

Для увеличения напряжения на клеммах гальванического элемента соберите батарею из двух гальванических элементов, соединенных последовательно (рис. 5). Для этого цинковый электрод элемента 1 соедините проводом с медным электродом элемента 2, а медный электрод элемента 1 и цинковый электрод элемента 2 с ножками светодиода.



а



б

Рис. 5. Фото (а) и схема (б) батареи из двух гальванических элементов Даниэля-Якоби: 1 – цинковые электроды, 2 – медные электроды, 3 – светодиод.

С помощью мультиметра замерьте напряжение на ножках включённого в цепь светодиода.

Для придания электродам устойчивости, поместите батарею из стеклянных стаканчиков с электродами в больший по размеру пластиковый стакан.

Отметьте наблюдаемые эффекты:

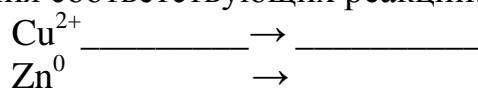
---

---

Ответьте на вопросы:

*Какие реакции происходят на электродах?*

Запишите уравнения соответствующих реакций:



*Почему загорается (не загорается) светодиод?*

*Для чего нужен солевой мостик?*

*Найдите в справочнике значения стандартных электродных потенциалов для цинкового и медного электродов и рассчитайте ЭДС одного и двух гальванических элементов, соединённых последовательно.*

*Объясните, почему необходимо собирать цепь из нескольких элементов, чтобы светодиод загорелся?*

**Вывод:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

# **МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ И УЧЕНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В РАМКАХ ФАКУЛЬТАТИВНЫХ ЗАНЯТИЙ «ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И ХИМИЯ»**

## **II. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ПРАКТИЧЕСКИМ РАБОТАМ**

Экспериментальные работы, описание которых предлагается, могут быть реализованы в качестве демонстрационного эксперимента, практических работ или ученических исследований. Однако, при организации факультативных занятий «Электричество и химии», следует помнить, что их целью является не только закрепить и углубить знания по основным программным вопросам химии, но, главным образом, перевести эти знания в активную деятельность форму. Это возможно только при самостоятельном выполнении учащимися химического эксперимента.

Поскольку учащиеся не имеют опыта экспериментальной работы, каждая работа, прежде всего, должна быть хорошо продумана и предварительно проведена самим учителем. Для наглядности эксперимента, авторы приводят видеоприложения к практическим работам, которые самостоятельно отработали (список видеоприложений и их просмотр доступны по ссылке: <https://www.youtube.com/playlist?list=PLIwgKzU5ZmgTOzQTafiuvtKBJXqh7RJB5>). Видеоприложения могут использоваться и на уроках химии как иллюстрации к изучаемому материалу, однако факультативные занятия не должны сводиться к их просмотру

Предлагаемые экспериментальные работы могут быть проведены как после изучения теоретического материала с закреплением его при решении соответствующих задач, так и перед изучением теоретического материала. В последнем случае будет реализован исследовательский или эвристический методы обучения, когда учащиеся смогут из установленных ими экспериментальных наблюдений сделать выводы и обобщения, объяснения которым найдут, рассматривая с учителем теоретическую интерпретацию изучаемых процессов. Очевидно, что в каждом случае надо использовать индивидуальный подход. Но в любом случае проведение эксперимента всегда должно сопровождаться обсуждением и объяснением наблюдаемых явлений.

В инструкциях для учащихся указаны исследовательские цели работы, но учитель при их организации должен помнить об обучающих, развивающих и воспитывающих целях обучения на факультативных занятиях.

Дидактические цели работы могут быть сформулированы следующим образом.

*Обучающая:* закрепить, расширить и углубить знания о реакциях в водных растворах (процессах электролитической диссоциации и электролиза, реакциях ионного обмена и гидролиза, окислительно-восстановительных реакциях), генетической связи между различными классами веществ, о важнейших достижениях прикладной электрохимии; отработать практические умения и навыки в непосредственной связи с теорией.

*Развивающая:* освоить методы научного познания и развивать опыт их использования, умения наблюдать за ходом эксперимента, анализировать и описывать его результаты, планировать ход предстоящего исследования, определять цель исследования и формулировать для её достижения познавательные задачи, осознанно выбирать наиболее эффективные способы решения познавательных задач, доказательно формулировать выводы и обобщать, находить объяснение наблюдаемым явлениям. Развивать интерес к предмету и процессу познания, навыки работы с информационными источниками и умение работать в коллективе.

*Воспитывающая:* воспитывать волю и настойчивость в решении поставленных задач, умения управлять своей познавательной деятельностью, экологически целесообразное поведение, потребность и готовность к самообразованию.

При выполнении практических работ важно не свести деятельность учащихся только к работе по инструкции, а придать работе учащихся творческую составляющую. Для этого мы предлагаем организовать выполнение работ на разных уровнях сложности, с различным характером деятельности учащихся и ее управления. В первой части предлагаются задания с подробным описанием методики эксперимента. Цель выполняемой на этом уровне работы – научить учащихся действовать по инструкции, осваивая методику исследования. Вторая часть работ, в которой также содержится подробное описание методики эксперимента, однако в ней приведены уже возможные направления исследований, выполняя которые учащиеся смогут проявить самостоятельность и творческий подход.

Самостоятельность выбора учащимся пути решения задачи, не исключает необходимости контроля учителя за ходом выполнения работы. В любом случае учащийся свои решения согласует с учителем.

Хотя в описании практических работ не указывается на необходимость в ходе их проведения приготовления используемых растворов, однако, очевидно, целесообразно, чтобы перед началом работ учитель вместе с учениками провели необходимые расчеты и приготовили растворы.

**Перед началом эксперимента учащихся необходимо ознакомить с Правилами безопасного поведения в кабинете химии при выполнении работы.**

**Перед выполнением каждой работы учитель должен обратить внимание учащихся на специфические требования по правилам безопасного поведения, которые необходимо соблюдать при работе с источниками тока.**

## **Практическая работа №1 Электролиз раствора сульфата меди (II)**

### **Порядок выполнения работы**

#### **1. Приготовления растворов электролитов**

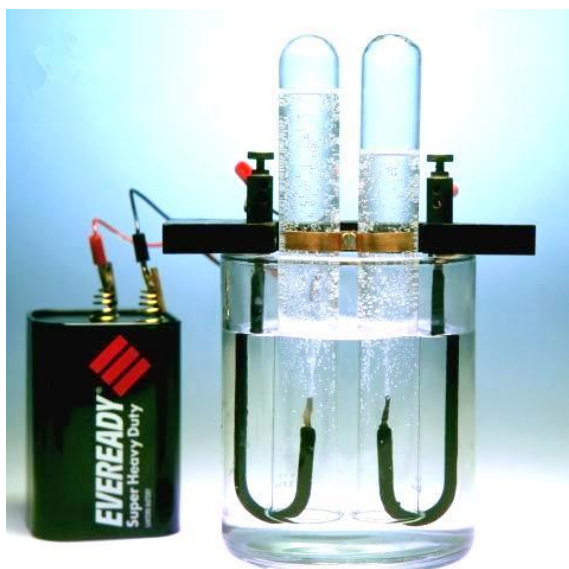
В работе используется раствор сульфата меди (II) с молярной концентрацией вещества 0,1 моль/л. Для его приготовления в мерную колбу на 250 мл через коническую воронку засыпается рассчитанное количество медного купороса и приливается около 100 мл дистиллированной воды. После растворения соли объем раствора в колбе доводится до метки.

#### **2. Подготовка прибора и сбор электрохимической цепи по схеме**

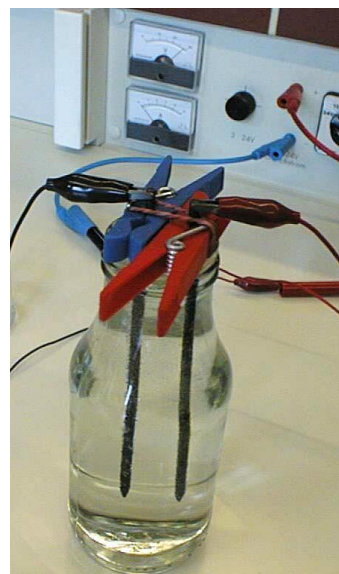
Электролиз водных растворов проводят в приборе, схема которого изображена на рис. 1. Электролизером 1 является стеклянная U-образная трубка, закрепленная в штативе 2. Electroдами служат графитовые стержни, закрепленные в резиновых пробках. В качестве электролизера может служить и химический стакан, но в этом случае возникает задача жесткого закрепления электродов, чтобы не произошло замыкания (рис.6).

Во всех опытах электролизер заполняется раствором электролита на 2/3 объема. Electroды с помощью проводов присоединяются к источнику питания 4, на котором поддерживается напряжение постоянного тока до 12 В. В качестве источника постоянного тока может использоваться батарейка типа «Крона». Графитовые electroды можно заменить графитовыми стержнями из чёрнографитных карандашей.





а



б

Рис. 6. Фото различного типа установок для электролиза: а – в качестве электролизёра используется химический стакан, а в качестве источника тока – батарейка типа «Крона» (9В); б – один из вариантов закрепления графитовых стержней

### 3. Наблюдение за ходом работы и объяснение результатов

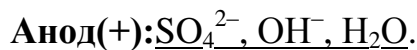
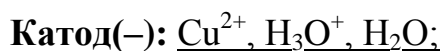
При пропускании электрического тока через раствор  $\text{CuSO}_4$  в течение 5–10 минут учащиеся должны отметить, что на аноде наблюдается выделение пузырьков газа (кислород), а на катоде появляется красный налёт – восстановленная медь (рис. 7).

Описав наблюдаемые явления, учащиеся самостоятельно или с помощью учителя составляют уравнения химических реакций, происходящих в растворе и на электродах при электролизе.

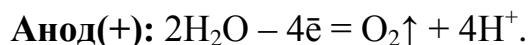
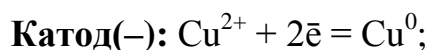
Уравнение диссоциации:



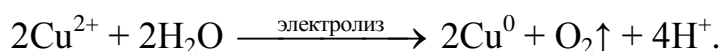
Частицы в электродном пространстве:



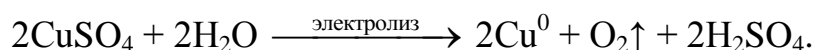
Уравнения реакций, происходящих на аноде и катоде:



Суммарное уравнение процесса электролиза в ионной форме:



Суммарное уравнение процесса электролиза в молекулярной форме:



Продукты электролиза:  $\text{Cu}, \text{O}_2, \text{H}_2\text{SO}_4$ .



Рис. 7. Осажденная медь на графитовом электроде после проведения электролиза раствора сульфата меди (II)

**Вывод:** при электролизе раствора сульфата меди (II) на катоде происходит восстановление меди (образуется красный налет), а на аноде – окисление воды – выделяется кислород. В растворе накапливается серная кислота.

## Практическая работа №2 Электролиз раствора иодида калия

Порядок подготовки прибора к работе и проведение электролиза в данной работе аналогичен, как и в практической работе 1. В качестве раствора используется раствор KI с молярной концентрацией вещества 0,1 моль/л.

В ходе выполнения электролиза учащиеся должны отметить выделение пузырьков газа на катоде. Добавление в катодное пространство после завершения электролиза 2-3 капли раствора фенолфталеина приводит к окрашиванию раствора в малиновый цвет, что свидетельствует о щелочной среде.

В анодном пространстве наблюдается выделение желто-бурого вещества, при добавлении к которому 2–3 капель крахмального клейстера происходит посинение раствора, что указывает на присутствие в растворе йода.



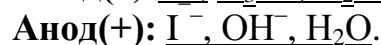
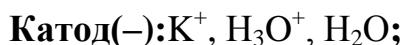
Рис. 8. Электролизер после проведения электролиза раствора иодида калия и добавления раствора фенолфталеина и крахмального клейстера

Описав наблюдаемые явления, учащиеся самостоятельно или с помощью учителя составляют уравнения химических реакций, происходящих в растворе и на электродах при электролизе.

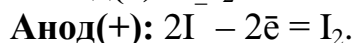
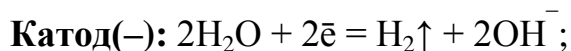
Уравнение диссоциации:



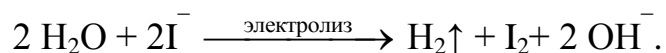
Частицы в электродном пространстве:



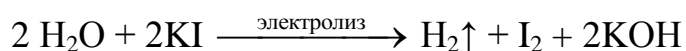
Уравнения реакций, происходящих на аноде и на катоде:



Суммарное уравнение процесса электролиза в ионной форме:



Суммарное уравнение процесса электролиза в молекулярной форме:



Продукты электролиза:  $\text{H}_2$ ,  $\text{I}_2$ ,  $\text{KOH}$ .

**Вывод:** при электролизе раствора иодида калия на катоде выделяется водород, а на аноде выделяется йод. В растворе накапливается щелочь.

### Практическая работа №3 Электролиз раствора хлорида калия

Порядок подготовки прибора к работе и проведение электролиза в данной работе аналогичен, как и в практической работе 1. В качестве раствора используется раствор  $\text{KCl}$  с молярной концентрацией вещества 0,1 моль/л.

Обращаем внимание, что поскольку в данном случае на катоде образуется водород, а на аноде – хлор, использовать в качестве электролизера химический стакан нецелесообразно, а сам процесс электролиза осуществлять не более 5-10 мин. Выделяющиеся на электродах газы должны быть пространственно разделены во избежание реакции между ними, протекающей на свету со взрывом.

В ходе выполнения электролиза учащиеся должны отметить выделение пузырьков газа на катоде. Добавление в катодное пространство после завершения электролиза 2-3 капель раствора фенолфталеина приводит к окрашиванию раствора в малиновый цвет, что свидетельствует о щелочной среде.

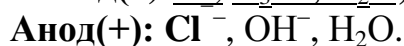
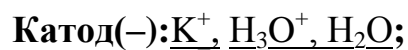
Выделение бесцветных пузырьков газа наблюдается и на аноде. Добавление в анодное пространство небольшой порции раствора иодида калия приводит к выделению желто-бурого вещества, которое при взаимодействии с крахмальным клейстером образует характерное синее окрашивание, что указывает на присутствие йода.

Описав наблюдаемые явления, учащиеся самостоятельно или с помощью учителя составляют уравнения химических реакций, происходящих в растворе и на электродах при электролизе.

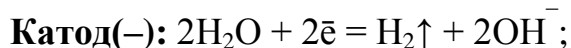
Уравнение диссоциации:



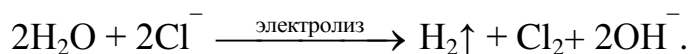
Частицы в электродном пространстве:



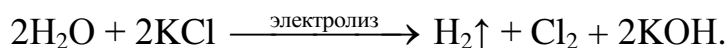
Уравнения реакций, происходящих на аноде и на катоде:



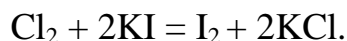
Суммарное уравнение процесса электролиза в ионной форме:



Суммарное уравнение процесса электролиза в молекулярной форме:



При добавлении в анодное пространство раствора KI, происходит следующая реакция:



Здесь учащимся можно задать вопрос: *Почему хлор вытесняет йод?*

Образующийся при электролизе хлор, может быть использован в опытах, которые демонстрируют окислительные свойства хлора.

Для этого надо подсоединить газоотводную трубку к патрубку колена U-образной трубки, в котором происходит выделение хлора.

Можно продемонстрировать качественные реакции с хлором:

- Если опустить свободный конец газоотводной трубки в пробирку с раствором иодида калия, будет наблюдаться выделение йода. Чтобы доказать, что это действительно йод, необходимо добавить несколько капель крахмального клейстера.

- Если на белом листке бумаги нарисовать что-либо ручкой или фломастером, затем смочить водой, а далее поместить в пробирку с хлором, то через некоторое время рисунок обесцветится.

Продукты электролиза:  $H_2$ ,  $Cl_2$ ,  $KOH$ .

**Вывод:** при электролизе раствора хлорида калия на катоде выделяется водород, а на аноде выделяется хлор. В растворе накапливается щелочь.

Рассматривая процесс электролиза раствора хлорида калия, учащимся можно сообщить, что подобный процесс (электролиз раствора хлорида натрия) используется в промышленности для получения гидроксида натрия и хлора на ОАО «Беларуськалий». При промышленном осуществлении электролиза водного раствора хлорида натрия с целью получения гидроксида натрия и хлора катодное и анодное пространства электролизера разделяют мембраной либо пористой керамической перегородкой (диафрагмой) во избежание взаимодействия продуктов электролиза между собой.

## Практическая работа №4 Электролиз раствора сульфата никеля (II)

Порядок подготовки прибора к работе и проведение электролиза в данной работе аналогичен, как и в практической работе 1. В качестве раствора используется раствор  $NiSO_4$  с молярной концентрацией вещества 0,1 моль/л.

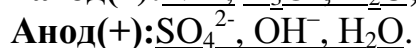
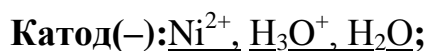
В ходе выполнения электролиза учащиеся должны отметить выделение пузырьков газа не только на аноде (как в случае электролиза раствора сульфата меди), но и выделение газа на катоде, а при извлечении катода из электролизёра – образование на нём блестящего металлического налёта.

Описав наблюдаемые явления, учащиеся самостоятельно или с помощью учителя составляют уравнения химических реакций, происходящих в растворе и на электродах при электролизе.

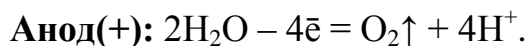
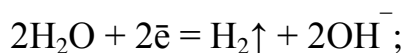
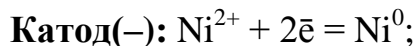
Уравнение диссоциации:



Частицы в электродном пространстве:



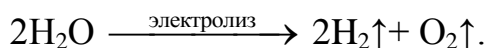
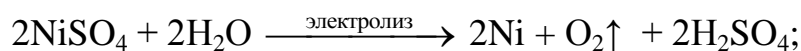
Уравнения реакций, происходящих на аноде и на катоде:



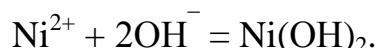
Суммарное уравнение процесса электролиза в ионной форме:



Строго говоря, в этом случае суммировать уравнения в катодном пространстве нельзя. Поэтому следует записывать два уравнения реакций, происходящих при электролизе раствора  $\text{NiSO}_4$ :



К этим уравнениям следует добавить уравнения реакции вторичных процессов:



Продукты электролиза:  $\text{Ni}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Ni}(\text{OH})_2$ .

**Вывод:** при электролизе водного раствора сульфата никеля на катоде происходит восстановление никеля до металла и выделяется водород; на аноде – выделяется кислород. В растворе накапливается серная кислота.

Выполнив четыре практических работы по электролизу, можно предложить учащимся сделать обобщающиеся выводы по обнаруженным закономерностям процессов электролиза водных растворов солей.

1. Электролиз – совокупность электрохимических окислительно-восстановительных процессов, происходящих при прохождении электрического тока через электролит с погруженными в него электродами.

2. На катоде происходит процесс восстановления (т.е. процесс присоединения электронов окислителем), а на аноде – процессы окисления (т. е. процесс отдачи электронов восстановителем).

3. При электролизе водных растворов солей металлов, находящихся в ряду напряжений от начала ряда и до алюминия включительно, на катоде восстанавливаются не ионы металла, а водород в молекулах воды.

4. При электролизе водных растворов солей металлов, стоящих в ряду напряжений между алюминием и водородом, одновременно на катоде могут восстанавливаться катионы металла и водород молекул воды.

5. При электролизе водных растворов солей металлов, стоящих в ряду напряжений правее водорода, на катоде восстанавливаются, как правило, только их ионы.

6. При электролизе водных растворов солей бескислородных кислот на аноде окисляются, как правило, только их анионы (исключение составляют фторид-ионы).

7. При электролизе водных растворов солей кислородсодержащих кислот на аноде, как правило, выделяется кислород в результате окисления молекул воды.

## **Практическая работа №5**

### **Построение ряда напряжений металлов**

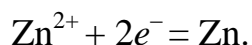
**Цель данной работы** является объяснить учащимся как был составлен ряд напряжений металлов и познакомить их с принципами измерения значений электродных потенциалов

#### **Краткое теоретическое введение к работе**

В 1793 году Алессандро Вольта, конструируя гальванический элемент (Вольтов столб), установил относительную активность известных тогда металлов: Zn, Pb, Sn, Fe, Cu, Ag, Au. «Сила» гальванического элемента оказывалась тем больше, чем дальше стояли друг от друга металлы в этом ряду. Так возникло понятие «ряд напряжений металлов».

В конце XIX века с развитием электрохимии стало ясно, что эта последовательность соответствует росту значений стандартных электродных потенциалов металлов. Таким образом, место каждого металла в ряду напряжений строго определено в соответствии со значением стандартных электродных потенциалов.

Стандартный электродный потенциал количественно отражает способность окисленной формы металла присоединять электроны для перехода в восстановленную форму по уравнению, например, для цинка:



Отметим, что в электрохимии электродом называют электронный проводник (металл, полупроводник, металлоид), находящийся в контакте с ионным проводником, который называется электролитом.

Так, цинковый электрод представляет собой конструкцию, состоящую из цинковой пластинки, которая помещена в раствор, содержащий ионы этого же металла (например, в раствор  $\text{ZnSO}_4$ ). На границе металла с раствором электролита возникает разность потенциалов, которая и называется электродным потенциалом.

Поскольку положение металла в ряду напряжений по существу характеризует его способность (и его ионов) к окислительно-восстановительным взаимодействиям в водных растворах, электродный

потенциал также называют окислительно-восстановительным потенциалом.

Абсолютное значение стандартного электродного потенциала измерить невозможно, поэтому измеряют значение потенциала электрода относительно потенциала электрода сравнения.

По правилам ИЮПАК стандартный электродный потенциал ( $E^\circ$ ) определяется относительно стандартного водородного электрода (его потенциал принят равным нулю при всех температурах).

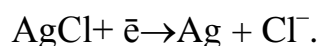
Вместо стандартного водородного электрода, приготовление и эксплуатация которого представляют значительные трудности, при измерении электродных потенциалов в качестве электрода сравнения удобнее использовать хлорсеребряный электрод.

Хлорсеребряный электрод представляет собой серебряную проволоку, покрытую слоем хлорида серебра, помещенную в насыщенный раствор хлорида калия.

Он обозначается как



Потенциал этого электрода возникает на границе раздела  $\text{Ag} | \text{Ag}^+$ , при этом имеет место электродная реакция:



Хлорсеребряный электрод обладает устойчивым и хорошо воспроизводимым потенциалом, который зависит от концентрации (активности) ионов хлора в растворе и выражается уравнением:

$$E = E^\circ_{\text{xc}} - 0,059 \cdot \lg[\text{Cl}^-],$$

где  $E^\circ_{\text{xc}}$  – стандартный потенциал хлорсеребряного электрода.

Значение стандартного потенциала хлорсеребряного электрода относительно стандартного водородного электрода составляет 0,202 В.

Для измерения стандартного электродного потенциала собирают гальваническую цепь из двух электродов: измеряемого электрода и электрода сравнения (рис. 9).

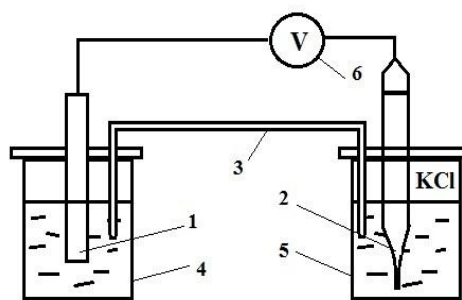


Рис. 9. Фотография и схема измерения электродных потенциалов: 1 – исследуемый электрод; 2 – хлорсеребряный электрод сравнения; 3 – солевой мостик; 4 – стакан с раствором электролита; 5 – стакан с насыщенным раствором KCl; 6 – измерительный прибор



### Ход выполнения работы

В данной работе надо наиболее тщательно подойти к приготовлению растворов электролитов.

Учитель может обратить внимание учащихся на возможность протекания гидролиза солей и предложить учащимся найти решение вопроса о его предотвращении.

В работе используют растворы солей металлов с молярной концентрацией вещества 0,1 моль/л. Для приготовления растворов в мерную колбу на 250 мл через коническую воронку засыпается рассчитанное количество соли соответствующего металла и приливается около 100 мл дистиллированной воды. После растворения соли объем раствора в колбе доводится до метки.

Растворение  $\text{AlCl}_3$  надо вести в дистиллированной воде, подкисленной соляной кислотой,  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  – в дистиллированной воде, подкисленной уксусной кислотой, во избежание гидролиза.

В случае использования для приготовления растворов нитратов металлов, подкисление надо вести раствором азотной кислоты.

В случае приготовления раствора  $\text{SnCl}_2$ , рассчитанное количество хлорида олова (II) (или его кристаллогидрата) предварительно надо растворить в соляной кислоте и только потом объем раствора довести водой до метки.

Все растворы должны быть свежеприготовленными.

Учитель должен объяснить роль солевого (или электролитного) мостика в этом эксперименте. После этого вместе с учащимися этот мостик может быть изготовлен.

Для этого следует поместить в химический стакан 1 чайную ложку хлорида калия и 2 капли средства для мытья посуды (также можно взять жидкое мыло). Налить в стаканчик 100 мл воды и замочить в этом растворе полоски впитывающей салфетки. Хорошо пропитанную полоску салфетки можно использовать в качестве солевого мостика, опустив её концы в стаканчик с измеряемым и стандартным электродами.

Учащиеся должны самостоятельно собрать гальваническую цепь по схеме (рис. 9) и провести измерения относительных электродных потенциалов. Результаты измерений они заносят в таблицу 1. Туда же они помещают значения электродных потенциалов, пересчитанные относительно водородного электрода.

Таблица 1

Значения электродных потенциалов

Электрод	$\Delta E, \text{В}$	$E, \text{В}$
<b>Cu</b>   $\text{CuSO}_4$	- 0,10	+ 0,30
<b>Zn</b>   $\text{ZnSO}_4$	0,94	- 0,74
<b>Sn</b>   $\text{SnCl}_2$	0,404	- 0,20
<b>Pb</b>   $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$	0,35	- 0,15
<b>Al</b>   $\text{AlCl}_3$	1,67	- 1,47

С учетом установленных электродных потенциалом, строится ряд металлов по увеличению значений их потенциалов:

Al	Zn	Sn	Pb	Cu
-1,47	-0,74	-0,20	-0,15	+0,30

Полученный ряд сопоставляется с рядом напряжений металлов.

**Вывод:** в ряду напряжений металлов положение металлов определяется значением их электродных потенциалов.

В продолжение работы можно остановиться на рассмотрении роли ряда напряжений и стандартных электродных потенциалов в научно обоснованном прогнозировании окислительно-восстановительных свойств металлов и их солей.

## **Практическая работа №6** **Элемент Даниэля- Якоби**

**Цель работы:** создать гальванический элемент Даниэля-Якоби; зажечь светодиод, собрав цепь из таких гальванических элементов.

### **Краткое теоретическое введение к работе**

Гальваническим элементом называют устройство, в котором энергия химической реакции непосредственно превращается в электрическую. Гальванические элементы называют также химическими источниками тока.

Гальванический элемент состоит из двух полуэлементов, каждый из которых представляет собой металлический электрод, погруженный в раствор соли того же металла. Полуэлементы соединяются в электрическую цепь с помощью так называемого электролитического или солевого мостика.

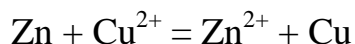
Действие любого гальванического элемента основано на протекании в нём окислительно-восстановительной реакции. Как известно, любая окислительно-восстановительная реакция может быть представлена состоящей из двух полуреакций – из окисления и восстановления. В гальваническом элементе эти полуреакции пространственно разделены: на одном электроде происходит полуреакция восстановления, на другом – окисления. Эти полуреакции называются электродными процессами.

Таким образом, один из электродов представляет собой окислительно-восстановительную или редокс-пару (от англ. reduction – oxidation, т.е. окисление – восстановление), состоящую из исходного окислителя и его восстановленной формы, другой электрод – из исходного восстановителя и его окисленной формы. Условились называть катодом тот электрод, на котором происходит восстановление, а анодом – электрод, на котором происходит окисление.

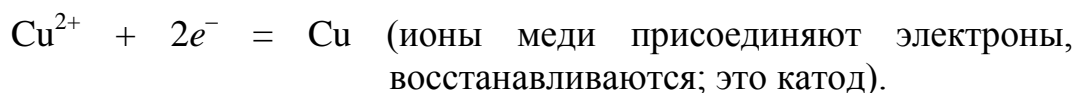
На аноде электроны освобождаются, а на катоде потребляются. Переход электронов осуществляется по внешней цепи. Таким образом, происходит самопроизвольное функционирование гальванического элемента. Электроны передаются по внешней цепи от окислителя к восстановителю.

Первые гальванические элементы были предложены ещё в середине XIX века, простейший из них элемент Даниэля-Якоби.

Например, окислительно-восстановительную реакцию в гальваническом элементе Даниэля – Якоби:



можно представить как состоящую из двух полуреакций (редокс-пар):



Таким образом, электрохимические реакции вызывают направленное перемещение электронов в проводнике, т.е. в гальваническом элементе химическая энергия превращается в электрическую, которую можно использовать для полезной работы. Измеряемая при этом разность потенциалов между элементами называется электродвижущей силой гальванического элемента (ЭДС).

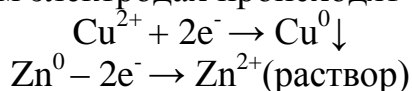
Схематически любой гальванический элемент записывают так. Слева обозначают отрицательный электрод. Это показывает, что электроны во внешней цепи и положительные ионы внутри элемента перемещаются слева-направо, т.е. в том же направлении, в котором реакция происходит самопроизвольно. Затем указывают примыкающий к отрицательному электроду раствор, далее раствор, контактирует со вторым электродом, и, наконец, материал второго электрода. При этом электрод отделяется от раствора одной вертикальной чертой, а различные растворы – двумя вертикальными чертами. Если электрод или раствор содержат несколько веществ, то их перечисляют, отделяя запятыми.

Согласно этому правилу гальваническая цепь элемента Даниэля-Якоби изображается следующим образом:



### **Ответы на вопросы, поставленные в работе.**

На медном и цинковом электродах происходят следующие реакции:



Чтобы оба раствора в целом оставались незаряженными, происходит миграция сульфат-анионов  $\text{SO}_4^{2-}$  через солевой мостик (его функцию выполняет смоченная в растворе соли салфетка), который не пропускает ионы металлов (рис. 4).

Значение ЭДС гальванического элемента может быть определено по разности электродных потенциалов:

$$\Delta E = E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^0} - E_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}^0}$$
$$\Delta E = 0,34 - (-0,76) = 1,10 \text{ В}$$

Почему необходимо собирать цепь из нескольких элементов, чтобы светодиод загорелся?

Для электропитания светодиода необходимо напряжение источника тока 1,5-2 В. Такое напряжение может дать только два соединённых последовательно гальванических элемента (рис. 5).

### III. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К УЧЕНИЧЕСКИМ ИССЛЕДОВАНИЯМ

Выполнение любого ученического исследования по аналогии с научным исследованием предполагает наличие следующих этапов [2].

На *первом этапе* осуществляется проектирование исследования, которое предполагает:

- выбор темы исследования, обоснование её актуальности, сбор, изучение и обработка имеющейся информации по теме исследования, выявление существующих проблем, условий и методов их решения;
- определение объекта (что мы исследуем), предмета (что в объекте мы изучаем) и цели исследования (чего мы намерены достигнуть, что хотим выяснить, познать);
- формулировка гипотезы исследования, то есть предположения о возможных путях достижения поставленной цели;
- определение задач исследования (что конкретно планируется делать в ходе работы для поэтапного достижения цели) и средств, с использованием которых будут решаться задачи (подбор и обоснование методов и методик исследования, выбор независимых переменных, варьируя которые, можно было бы наблюдать за характером изменения зависимой переменной, функционирование которой изучается в эксперименте).

На *втором этапе* непосредственно осуществляется запланированное исследование и первичная систематизация полученных данных, проверка их достоверности.

На *третьем этапе* осуществляется осмысление и обсуждение полученных результатов, их интерпретация, установление закономерностей, делается заключение и сопоставляются полученные результаты с целью исследования, существующими ранее знаниями и данными о свойствах изучаемого объекта, оформляется работа к представлению на конференции.

Методическое значение этих этапов рассмотрено в [4].

# Исследовательская работа №1

## Электрохимическое оксидирование и окрашивание поверхности алюминия

**Целью** данной работы является исследование возможности получения окрашенных пористых анодных пленок оксида алюминия и установление зависимости между качеством окрашенной пленки (цвет, механические и коррозионные свойства) и режимами анодирования.

**Объект исследования:** пористый оксид алюминия, полученный анодированием алюминиевых пластинок в растворах кислот.

**Предмет исследования:** экспериментальное определение зависимости условий получения окрашенной поверхности анодированного оксида алюминия от параметров анодирования и электрохимического окрашивания.

Прежде, чем учащиеся приступят к выполнению исследования, перед ними должен быть поставлен вопрос: *Чем в научном плане интересен процесс анодирования оксида алюминия или в чём актуальность исследования?*

Приступить к экспериментальному исследованию можно только после того, как учащиеся разберутся в сути процессов анодирования алюминия и поймут, какие факторы влияют на качество анодированного алюминия

Ответ на эти вопросы учащиеся должны найти самостоятельно с использованием информационных ресурсов. Кратко с теоретическими подходами к их решению можно познакомиться в нашей статье [10].

После совместного обсуждения с учащимися механизмов анодирования, можно приступить к выдвигению гипотезы исследования.

**Гипотеза исследования:** варьируя условия анодирования алюминия (подбирая электролит, его концентрацию в водном растворе, температуру анодирования и плотность анодного тока, время анодирования), на поверхности алюминия можно сформировать плёнки  $Al_2O_3$  с определённым размером пор, в которые затем можно электрохимически осадить из растворов электролитов частицы металлов и оксидов, придающие плёнкам определённый цвет.

На основе цели и гипотезы исследования формулируются задачи исследования.

### **Задачи исследования:**

- Оработать методику получения пористого оксида алюминия на поверхности алюминия путем его анодного окисления и методику его последующего электрохимического окрашивания в растворах солей.
- Установить влияние основных параметров процесса анодирования (плотность тока и время анодирования, состав и

температура электролита) на условия окрашивания и качество окрашенного покрытия.

- Определить условия получения на поверхности анодированного алюминия покрытий определённого цвета.
- Подобрать оптимальные условия для нанесения пигмента на анодированный алюминий.
- Провести испытания механической и коррозионной устойчивости полученных поверхностей
- Определить возможность получения рисунков на поверхности анодированного алюминия.

Поскольку любое исследование – это установление какой-либо закономерности, необходимо выбрать зависимые и независимые параметры, характеризующие предмет нашего исследования.

**Зависимыми параметрами** в данном исследовании будут: цвет покрытия анодированного алюминия, его насыщенность, механическая и коррозионная устойчивость.

**Независимыми параметрами**, которые мы будем варьировать, экспериментально определяя оптимальные условия для получения окрашенных покрытий требуемого качества, будут: состав алюминиевых пластинок, условия подготовки поверхности алюминия для нанесения анодной плёнки, параметры анодирования (состав электролита, его концентрация, температура электролита и плотность анодного тока, время анодирования), состав электролита окрашивания и электрохимические параметры окрашивания, условия нанесения рисунков на поверхность алюминия.

В таблице 2 приводятся возможные направления ученического исследования.

Таблица 2

**Направления исследований по подбору условий получения методом анодирования пористых окрашенных оксидных плёнок на поверхности алюминия**

<b>Факторы, влияющие на качество получаемой оксидной пленки</b>	<b>Содержание эксперимента</b>
Время и температура травления алюминиевой подложки	Варьировать время выдерживания в растворе NaOH (50 г/л) при температуре: комнатная – + 60°C от 1 до 5 мин
Природа электролита	Процесс анодирования проводить в разных электролитах Пористые пленки растут преимущественно в разбавленных кислотах (например, серной кислоте, фосфорной, хромовой, щавелевой и смеси неорганических и органических кислот)
Концентрация электролита	Анодирование проводить в растворах кислоты различной концентрации: 5%, 10%, 20%, 25%.

Время анодирования	Анодирование проводить в течение 10, 15, 20, 30, 40 и 60 мин
Напряжение анодирования	Процесс анодирования проводить при разных напряжениях на электродах. Установлено, что оксид алюминия с расстоянием между порами равным 50, 65, 100, 420 и 500 нм образуется при напряжении 19 и 25В в серной кислоте, при 40 В – в щавелевой, при 160 и 195В – в фосфорной, соответственно
Плотность тока	Проводить анодирование с плотностью тока 1, 1,5 и 2А/дм <sup>2</sup>
Раствор для окрашивания	Проводить окрашивание в разных растворах и выбрать тот, в котором получается самый насыщенный цвет
Время окраски	Варьировать время окраски и следить за насыщенностью цвета
Напряжение при окрашивании	Проводить окраску при напряжении 10, 15, 25В
Предварительная обработка и анодирование для процесса окрашивания	Провести окрашивание необработанной и неанодированной пластинки, а затем сравнить с покрытиями, которые прошли все ступени обработки
Исследование возможности нанесения рисунков на анодированную поверхность	Подобрать способ создания рисунка

Возможные варианты исследований можно спланировать, изучив литературу по анодированию, в которой приводятся различные условия анодирования и окрашивания алюминия.

### **С чего начать исследования?**

С отработки известной методики получения окрашенных покрытий на анодированном алюминии.

Ниже мы приводим апробированную нами методику, воспроизведя которую учащиеся поймут и освоят приемы электрохимического синтеза оксида алюминия и его окрашивания.

Процесс электрохимического окисления и окрашивания поверхности алюминия включает следующие этапы:

1. Подготовка поверхности алюминия к анодированию
2. Анодирование алюминия
3. Электрохимическое окрашивание поверхности алюминия

Перед началом анодирования необходимо провести предварительную обработку алюминиевой поверхности.

1. Подготовка поверхности алюминия к анодированию – очень важный этап и проводится непосредственно перед анодированием, так как

состояние исходной поверхности может значительно повлиять на процесс нанесения оксидной пленки. Наличие посторонних органических и неорганических веществ, примесей, уже имеющейся оксидной пленки, а так же различных дефектов и повреждений может изменять скорость реакции и качество покрытия оксидной пленкой. Предварительная обработка включает в себя следующие стадии: обезжиривание, травление, осветление.

Образцы помещаются в раствор для обработки пинцетом или подвешенными на алюминиевой проволоке, продетой сквозь отверстие.

- **Обезжиривание**

Обезжиривание проводят в 5% растворе  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  или хозяйственного мыла (можно использовать другие известные моющие средства). После чего тщательно промывают образцы под проточной струей воды.

- **Травление**

Этот процесс необходим для удаления различных царапин и уже имеющейся на алюминии естественной оксидной плёнки, получения матовой поверхности. Для травления алюминий помещают в раствор  $\text{NaOH}$  (50 г/л) при  $50-70^\circ\text{C}$  на 1-2 мин, а затем промывают дистиллированной водой.

- **Осветление**

Чтобы снять травильный шлак (осветлить), образец погружают в 30% раствор  $\text{HNO}_3$  на несколько минут. Шлак может проявляться в виде темных пятен, если в образце присутствовали примеси меди либо железа. После чего тщательно промывают образцы под проточной струей воды.

### 1. Анодирование алюминия

Для проведения анодирования необходимо собрать электрическую цепь, представленную на рис. 10.

***Перед включением в сеть приборов обязательно проверять отсутствие оголенных проводов, правильность сборки цепи!***

Анодирование проводят в режиме стабилизации по току (в исследовании можно использовать и режим стабилизации по напряжению). Плотность тока ( $i$ ) на аноде должна составлять  $1,0 \text{ А/дм}^2$ . Она определяется как частное деления силы тока на площадь поверхности алюминиевого анода, погруженной в раствор электролита:

$$i = \frac{I}{S}, \left[ \text{А/дм}^2 \right].$$

В качестве электролита используется 5% раствор  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Время анодирования 20 минут, температура ванны анодирования составляет  $15^\circ\text{C}$ . При этом происходит сильный нагрев электролита, поэтому его необходимо охлаждать, поместив в термостат.

В процессе анодирования можно следить за характером изменением напряжения на электродах, если стабилизацию ведут по току, и наоборот,



за изменением силы тока в цепи, если стабилизацию ведут по напряжению.

После анодирования образец необходимо промыть холодной дистиллированной водой. Температура промывки и сушки не должна превышать 50-60 °С, так как при более высокой может произойти разрушение или ухудшение качества пленки.

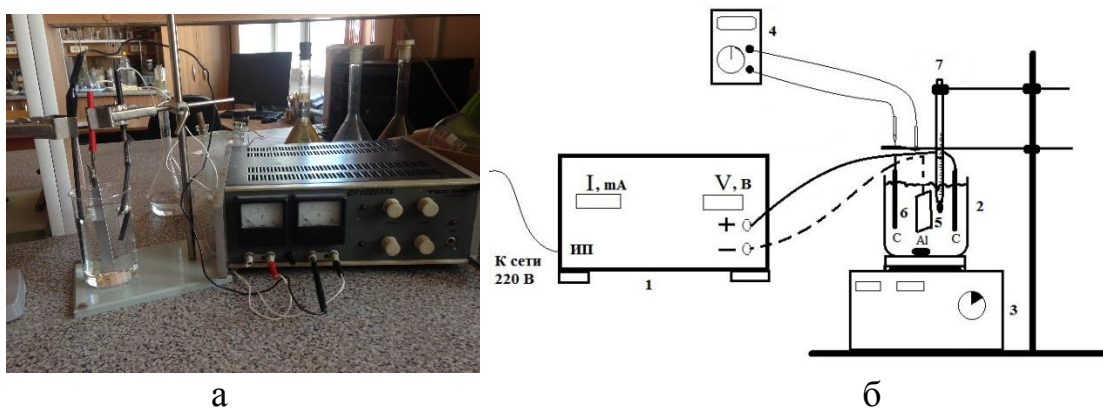


Рис. 10. Фотография (а) и схематическое изображения (б) установки для анодирования алюминия: 1 – блок питания постоянного тока, 2 – ёмкость с раствором электролита, 3 – магнитная мешалка, 4 – мультиметр (ампервольтметр), 5 – анод (алюминий), 6 – катод (графитовый стержень), 7 – термометр.

## 2. Электрохимическое окрашивание поверхности алюминия

Анодная плёнка имеет пористую структуру и обладает высокой способностью к адсорбции красок, жиров, масел и других веществ.

Процесс электрохимического окрашивания может выполняться с применением постоянного или переменного электрического тока.

В данном случае использовали электрическую цепь с переменным током (рис. 11).

Образцы погружают в ванну окрашивания сразу после анодирования и промывки.

Раствор для окрашивания.

В золотистый цвет:

$\text{KMnO}_4$  – 5 г/л;

$\text{H}_2\text{SO}_4$  – 5 г/л.

В черный цвет:

1)  $\text{CuSO}_4$  – 5 г/л;  $\text{H}_2\text{SO}_4$  – 5 г/л;

2)  $\text{H}_3\text{BO}_3$  – 40 г/л;  $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 50 г/л;  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 50 г/л.

Лучшее черное окрашивание получилось при использовании раствора 1.

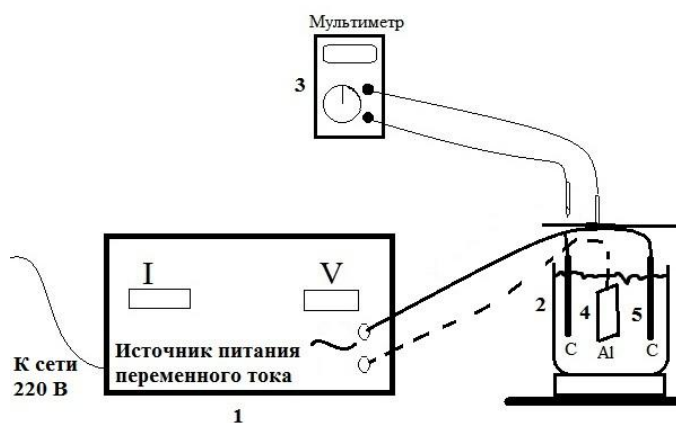


Рис. 11. Фотография и схема прибора для окрашивания поверхности анодированного алюминия: 1 – источник питания переменного тока (можно использовать ЛАТР), 2 – ванна с электролитом, 3 – мультиметр (ампервольтметр), 4 – электрод с анодированным алюминием, 5 – графитовые электроды.

Цвет окраски зависит от продолжительности этого процесса и выбранного раствора для окрашивания.

Для окраски в золотистый цвет, используя раствор, содержащий  $\text{KMnO}_4$  и  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , оптимальное время – 15 мин при переменном напряжении на электродах 10 В. Для окраски в черный цвет используется раствор, содержащий  $\text{CuSO}_4$  и  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Окраску проводят при 10В в течение 5 мин.

Окраску также можно проводить и без использования электричества путём поочередного выдерживания анодированного алюминия в течение 20-30 мин в растворах солей, которые образуют между собой нерастворимый, интенсивно окрашенный осадок, проникающий в поры оксидного покрытия (табл. 3).

Таблица 3

**Растворы для окрашивания оксидных покрытий**

Цвет покрытия	Окрашивающее Соединение	Раствор 1 Концентрация (г/л)	Раствор 2 Концентрация (г/л)
Синий	$\text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	$\text{FeCl}_3$ (10-100)	$\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ (10-50)
Коричневый	$\text{Cu}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$	$\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (10-100)	$\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ (10-50)
Черный	$\text{Co}_2\text{O}_3$	$\text{Co}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ (40-100)	$\text{KMnO}_4$ (15-20)
Желтый	$\text{PbCrO}_4$	$\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ (100-200)	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (50-100)
Золото	$\text{MnO}_2$	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (10-50)	$\text{KMnO}_4$ (10-50)
Белый	$\text{BaSO}_4$ $\text{PbSO}_4$	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (10-50)	$\text{BaCl}_2$ (10-50) $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ (10-50)

После нанесения покрытия образцы тщательно промывают холодной водой. После чего в течение 15-20 мин выдерживают в горячей (80-90°C) воде для уплотнения и гидратирования оксидного покрытия. Затем образцы сушат при 90-100°C.

Образцы, полученные при отработки нами методики анодирования, как иллюстрация возможных направлений работы, представлены на рис. 12-14.

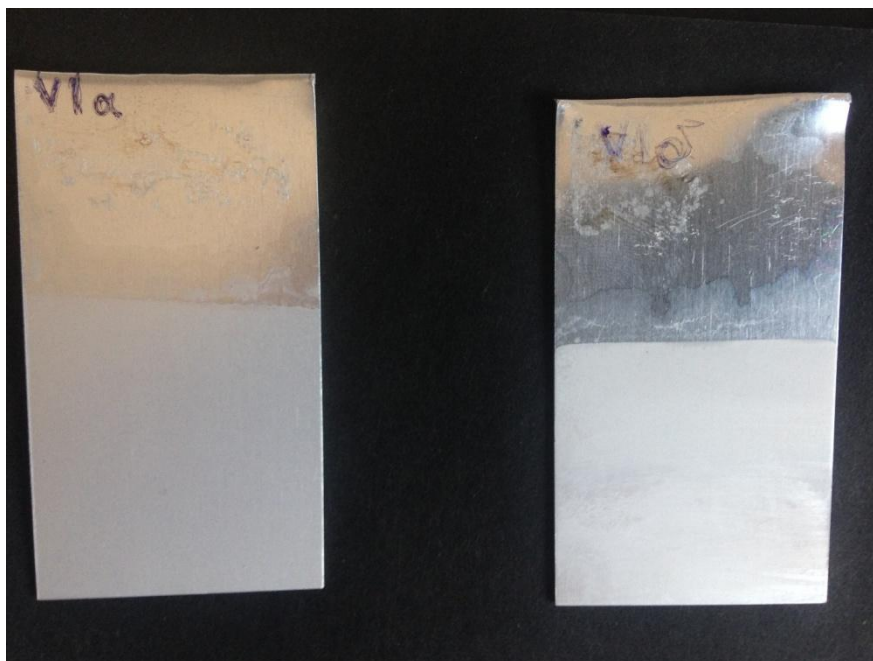


Рис. 12. Пластинки алюминия с нанесенной электрохимическим способом оксидной пленкой: время анодирования - 60 мин, электролит – серная кислота (25%).

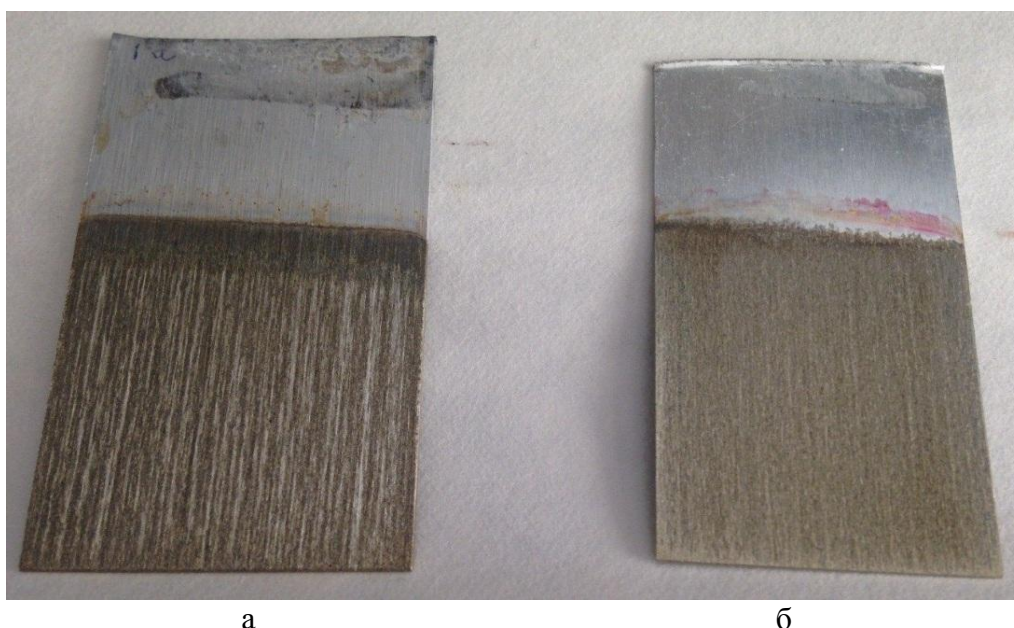


Рис. 13. Окрашенные алюминиевые пластинки: электролит – серная кислота 25%; для а: время анодирования 10 мин.; для б: время анодирования 20 мин. Окраска проводилась в растворе следующего состава : 10 г/л  $\text{KMnO}_4$  и 10 г/л  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .



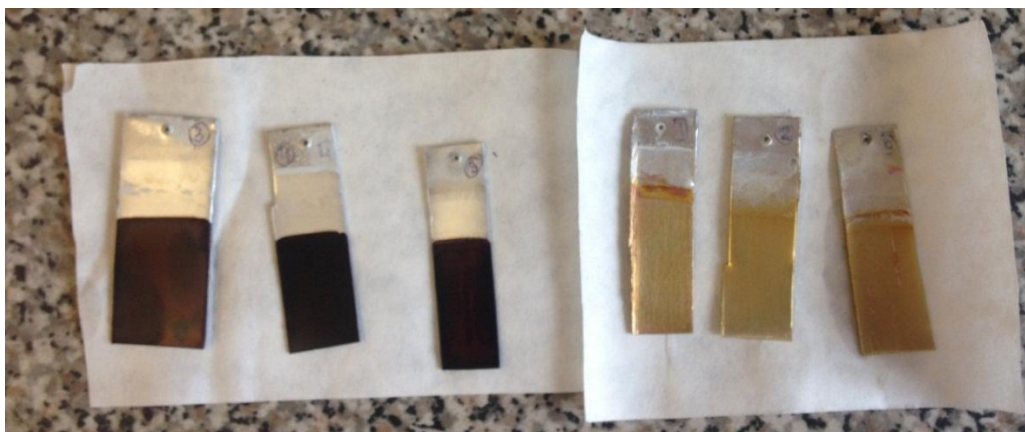


Рис. 14. Анодированные алюминиевые пластинки, окрашенные в черный (использовался раствор следующего состава:  $\text{CuSO}_4$  – 5 г/л и  $\text{H}_2\text{SO}_4$  – 5 г/л) и золотистый (раствор -  $\text{KMnO}_4$  – 5 г/л и  $\text{H}_2\text{SO}_4$  – 5 г/л) цвета

### Исследование возможности нанесения рисунков на анодированную поверхность

Стадия нанесения рисунка на поверхность алюминия является промежуточной между анодированием и окрашиванием. Ее суть заключается в нанесении шаблона на поверхность, который защитит от окрашивания либо рисунок, либо область вне рисунка. В качестве исследования можно провести подбор наилучшего защитного вещества: карандаш, маркер, лак для ногтей и др. После нанесения шаблона (рисунка) дожидаются полного его высыхания. После этого образец погружают в ванну для окрашивания, а затем образцы промывают водой. После чего в течение 10 минут выдерживают в горячей ( $60-70^\circ\text{C}$ ) воде для уплотнения и гидратирования оксидного покрытия. Затем образцы сушат.

Образцы, полученные при отработки нами методики анодирования, как иллюстрация возможных направлений работы представлены на рис. 15.



Рис. 15. Анодированные пластинки алюминия с нанесенными цветными рисунками.

## Испытания качества оксидных покрытий

Качество покрытия – это не только цель экспериментальной работы, но и инструмент, наша зависимая переменная, которая позволяет оценить свойства формируемой при анодировании пленки пористого оксида алюминия.

Контроль качества анодных покрытий включает в себя большое количество различных тестов в соответствии с ГОСТ 9.305-84. В данной работе приведены наиболее важные и простые в исполнении методы.

### 1. Визуальный контроль:

Покрытие должно быть однородное и гладкое. Визуальные качества должны соответствовать ожидаемому или ГОСТу.

### 2. Контроль прочности сцепления покрытия с подложкой

Методы контроля прочности покрытия приведены в таблице 4.

Таблица 4

Методы контроля прочности сцепления покрытия с подложкой

Метод	Суть метода	Положительный результат
Метод изгиба	Образец несколько раз сгибают на определенный угол и выгибают обратно.	Покрытие целое в месте изгиба. Измеряется максимальный угол изгиба и количество выдержанных подряд тестов.
Метод нанесения сетки царапин	На образец острым стальным ножом наносят сетку (2-3 мм между линиями)	При механическом воздействии элементы покрытия не должны отслаиваться.
Метод нагрева	Образцы нагревают в муфельной печи до 200-300°C и охлаждают на воздухе до комнатной температуры.	Не должно происходить визуальных изменений. При механическом воздействии покрытие должно остаться целым.
Метод удара	На деталь с определенной высоты несколько раз роняют стальной боек	Измеряется количество выдержанных ударов и степень повреждения покрытия.
Метод истирания	Покрытие осторожно шлифуют мелкой наждачной бумагой.	При шлифовании покрытие не должно отслаиваться.

### 3. Контроль коррозионной устойчивости покрытия

#### • Испытания в естественной среде

Образцы подвергают естественной коррозии погружая в «морскую воду» (3-5 % р-р NaCl с небольшой добавкой MgSO<sub>4</sub> и KCl). Испытания проводятся от 6 до 20 дней. Периодически оценивается внешнее состояние образцов и площадь пораженной поверхности.

#### • Ускоренное коррозионное испытание (капельный метод)

Суть метода заключается в нанесении на образец капли коррозионного раствора (дихромат калия в соляной кислоте). В ходе

реакции оксидное покрытие растворяется и начинается реакция кислоты с алюминием подложки. Выделяющийся водород восстанавливает дихромат ионы до ионов  $\text{Cr}^{3+}$  в результате чего капля изменяет свою окраску с оранжевого на зеленый цвет.

Состав коррозионного раствора: 25 мл концентрированной  $\text{HCl}$  (плотность 1,19 г/мл), 3 г  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , 75 мл воды.

## **Исследовательская работа №2** **Вольтов столб**

**Целью** данной работы является создание источника тока, работающего по принципу Вольтова столба – первого гальванического элемента.

**Объект исследования:** Вольтов столб как химический источник тока.

**Предмет исследования:** изучение влияния различных факторов на параметры Вольтова столба.

Перед началом работы учащиеся знакомятся с литературой, посвященной истории создания и принципам работы химических источников тока.

Такое исследование целесообразно провести после выполнения практической работы № 5 «Ряд напряжений металлов» и №6 «Элемент Даниэля-Якоби».

**Гипотеза исследования:** варьируя параметры и условия создания Вольтова столба (подбирая электролит для пропитки, его концентрацию в водном растворе, варьируя количество пластинок металлов для сбора цепи, подбирая пары металлов, дающие наибольшую разность потенциалов, а также тип подключения гальванических элементов в цепь), можно создать источник тока, который дает определённое количество электричества.

**Задачи исследования:**

- Познакомиться с историей создания батарейки и ее изобретателем.

- Отработать методику создания первого гальванического элемента – Вольтова столба.

- Установить влияние основных факторов (состав электролита для пропитки и его концентрация, природу металлов для создания гальванического элемента, количество пар металлов, собираемых в цепь, тип подключения) на работу данного устройства и количество получаемого электричества.

- Выбрать параметры для создания наиболее простого и качественного устройства, работающего по принципу Вольтова столба.

**Зависимым параметром** в данном исследовании будет напряжение на полюсах источника тока, количество электричества, полученное при использовании собранного устройства.

**Независимыми параметрами**, которыми мы будем варьировать, экспериментально определяя оптимальные условия для получения Вольтова столба будут: природа металлов, используемых для создания гальванического элемента, условия подготовки поверхности выбранных металлов, параметры соединения гальванических элементов в цепь (состав электролита, его концентрация, количество и тип соединения гальванических элементов, собираемых в цепь).

Возможные направления ученического исследования представлены в таблице 5.

Таблица 5

**Направления исследований по подбору условий для создания Вольтова столба**

<b>Факторы, влияющие на создание устройства</b>	<b>Содержание эксперимента</b>
Природа металлов, из которых строится гальванический элемент	Подбирать пары металлов разной активности, дающие наибольшую разность электродных потенциалов
Природа электролита	Подобрать электролит для пропитки ткани (бумаги или др.), разделяющей металлы в гальваническом элементе, используя который, система будет давать наибольшее количество электричества
Концентрация электролита	Подобрать концентрацию водного раствора электролита для пропитки ткани (бумаги или др.), разделяющей металлы в гальваническом элементе, используя который система будет давать наибольшее количество электричества.
Количество гальванических элементов, собираемых в цепь	Установить закономерность между количеством получаемого электричества и количеством гальванических элементов, собираемых в цепь
Предварительная обработка поверхности металлов	Сравнить количество электричества, получаемого созданным устройством, предварительно обработав металлы, входящие в гальванический элемент и не обрабатывая их
Тип соединения гальванических элементов	Установить влияние типа соединения (параллельно или последовательно) гальванических элементов на количество получаемого устройством электричества

**С чего начать исследования?**

С отработки методики создания Вольтова столба. Ниже приведена апробированная нами методика, воспроизведя которую учащиеся смогут понять принцип работы первого гальванического элемента – Вольтова столба.

Процесс создания первого гальванического элемента включает следующие этапы:

1. Подготовка поверхности цинковых и медных пластинок.
2. Пропитка электролитом бумаги (ткани), разделяющей металлы.
3. Сборка источника тока.

#### 1. Подготовка поверхности цинковых и медных пластинок

Для устранения посторонних органических и неорганических веществ, а также примесей, пластинки зачищают мелкой наждачной бумагой, затем промывают дистиллированной водой. Далее поверхность пластинок протирают тампоном, смоченным растворителем (ацетоном, изопропиловым спиртом). В дальнейшем условие подготовки поверхности элементов. Этот этап проводится непосредственно перед созданием устройства, так как состояние исходной поверхности может значительно повлиять на процесс.

#### 2. Пропитка салфеток приготовленным электролитом

Между парой металлических пластинок должен размещаться электролит. Для удержания электролита используются бумажные (тканевые) салфетки. Их вырезают по размерам металлических пластинок и пропитывают в растворе хлорида аммония  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (концентрация 1 моль/л), опустив пинцетом салфетку в данный раствор на несколько секунд.

#### 3. Сборка источника тока

Устройство собирают по схеме, представленной на рис. 16.

К верхней и нижней пластинкам (одна медная, вторая цинковая) припаивают или прикрепляют скотчем зачищенные электропровода. Электропровода могут быть припаяны к стальным пластинкам, вырезанным по форме медных и цинковых пластинок. В этом случае они будут выполнять роль контактов. Важно, чтобы во всех случаях контакт был хорошим.

Затем собирают гальванический элемент: на медную пластинку накладывают пропитанную электролитом салфетку, а на салфетку – цинковую пластинку.

Подключив провода к мультиметру (вольтметру): медная пластинка – положительный полюс, а цинковая – отрицательный, измеряют напряжение на концах гальванического элемента.

Чтобы получить устройство, дающее большее напряжение, в цепь собирают несколько таких гальванических элементов. Для этого на цинковую пластинку накладывают медную пластинку, далее салфетку, пропитанную электролитом, и сверху медную пластинку. Под нижнюю и на верхнюю пластинку собранного устройства подкладывают контакты и соединяют конструкцию скотчем.



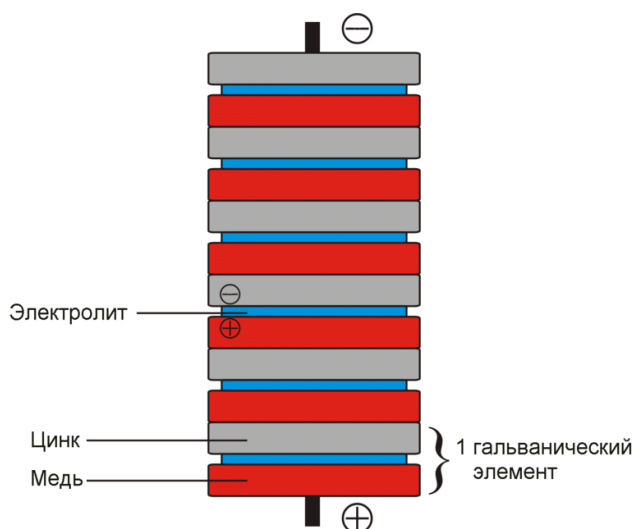


Рис. 16. Вольтов столб.

Собрав цепь из нескольких гальванических элементов, можно к нему подключить светодиод. Короткая ножка светодиода – это отрицательный полюс элемента (цинковая пластинка), а длинная – положительный (медная пластинка).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мычко, Д. И. Учебная программа факультативных занятий «Электричество и химия» [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://adu.by/images/2016/08/15\\_elektric\\_i\\_himia.docx](http://adu.by/images/2016/08/15_elektric_i_himia.docx) – Дата доступа: 02.04.2017.
2. Матулис, Вадим Э. Электролиз водных растворов и расплавов солей / Вадим Э. Матулис, Виталий Э. Матулис, Т.А. Колевич [Электронный ресурс] / Национальный образовательный портал. – Минск, 2016. – Режим доступа: <http://www.adu.by/images/2016/11/dop-mater-elektroliz-solej-11kl-kolevich.pdf>. – Дата доступа: 12.06.2017.
3. Глинка, Н. Л. Общая химия: учебн. пособие для вузов / Н.Л. Глинка; под ред. А.И. Ермакова. – М.: Интеграл-Пресс, 2004. – 728 с.
4. Горбунов, А.И. Теоретические основы общей химии: учебник для студентов технических университетов и вузов / А.И. Горбунов, А.А. Гуков, Г.Г. Филлипов, В. Н. Шаповал; под ред. А.И. Горбунова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 720 с.
5. Эрдей-Груз, Т. Химические источники тока / Т. Эрдей-Груз. – М.: Мир, 1974. – 304 с.
6. Фримантл, М. Химия в действии. В 2-х ч. / М. Фримантл; пер. с англ. – М.: Мир, 1991.
7. Воронов, Г.Я. Электричество в мире химии. / Г.Я. Воронов – М.: Знание, 1987. – 144 с.

8. Браун, Т. Химия – в центре наук: учеб. пособие для учащихся старших классов. В 2-х частях. / Т. Браун, Г.Ю. Лемей; пер. с англ. – М.: Мир, 1983.

9. Мычко, Д. И. Вопросы методологии и истории химии: от теории научного метода к методике обучения: пособие / Д. И. Мычко [Электронный ресурс] / Электронная библиотека БГУ. – Минск: БГУ, 2014.– Режим доступа: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/113999> – Дата доступа: 02.04.2017.

10. Шелягович, М. Ю. Электрохимическое оксидирование и окрашивание поверхности алюминия. Методические рекомендации к организации ученического исследования / М.Ю. Шелягович, Д.И. Мычко, // Біялогія і хімія. – 2017. – №5. – С. 40 – 49.