



Учреждение образования
«Белорусская государственная
орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени
сельскохозяйственная академия»



Кафедра биологии растений и химии

ХИМИЯ

Лабораторный практикум

**Лабораторная работа
Электропроводимость растворов**





Учреждение образования
«Белорусская государственная
орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени
сельскохозяйственная академия»



Лабораторная работа

Изучение электрической проводимости растворов электролитов

Целью работы является:

1. Освоить методику измерения электрической проводимости растворов электролитов.
2. Установить зависимость удельной и молярной электрической проводимости раствора слабого электролита от концентрации раствора и определить степень и константу диссоциации слабого электролита.
3. Установить зависимость удельной и молярной электрической проводимости раствора сильного электролита от концентрации раствора и определить предельную молярную электрическую проводимость раствора сильного электролита.

Так как электропроводность – это величина, обратная электрическому сопротивлению, то определение электропроводности растворов электролитов сводится к измерению их сопротивления *методом компенсации*. Сущность этого метода заключается в сравнении неизвестного сопротивления с известным и используется в мостах переменного тока.

На рис. 1 представлена схема четырехплечного моста переменного тока (моста Кольрауша), состоящего из четырёх замкнутых ветвей (плеч) AB , BC , AD , DC , имеющих омическое сопротивление соответственно: R_1 , R_X , R_2 , R_3 (R_X – это искомое сопротивление раствора электролита).

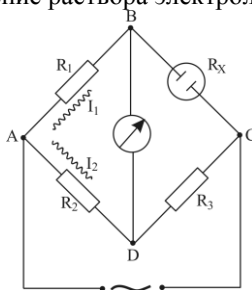


Рис. 1. Схема моста переменного тока (моста Кольрауша)

В диагональ AC моста (рис. 1) включают источник питания переменного тока. Необходимость использования переменного тока объясняется тем, что постоянный ток вызвал бы реакции электролиза на электродах, что привело





Учреждение образования
«Белорусская государственная
орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени
сельскохозяйственная академия»



бы к изменению концентрации и природы раствора электролита вблизи электродов (т. е. к поляризации электродов). Применение переменного тока исключает электродные реакции, поскольку та поляризация, которая происходит, когда ток течёт в одном направлении в первом полупериоде, уничтожается, когда ток течёт в противоположном направлении в следующем полупериоде. Обычно используется частота переменного тока ν около 1 кГц. В диагональ BD моста включают какой-нибудь нуль-инструмент, например чувствительный гальванометр.

По **первому правилу Кирхгофа** (1847) в точке A моста ток разветвляется и идёт по ветвям ABC и ADC . В каждом плече величина тока зависит от её сопротивления. Подбирая R_1 , R_2 и R_3 при постоянном сопротивлении R_x , добиваются такого распределения токов в плечах моста, при котором ток в измерительной диагонали BD упадёт до нуля. Отсутствие тока в ней возможно при равенстве потенциалов в точках B и D . Это означает, что падения напряжения в плечах AB и AD и, соответственно, BC и DC должны быть равными. Такое состояние моста называется **балансом**.

Обозначив силу тока в ветви ABC через I_1 , а в ветви AD через I_2 и выразив падение напряжения на ветвях моста через произведение силы тока на соответствующие сопротивления, получим: $I_1R_1 = I_2R_2$ и $I_1R_x = I_2R_3$, откуда

$$\frac{R_1}{R_x} = \frac{R_2}{R_3}.$$

Следовательно, баланс возможен, если соблюдается равенство соотношений сопротивлений ветвей моста.

Решаем уравнение относительно искомого сопротивления раствора электролита R_x :

$$R_x = \left(\frac{R_2}{R_3} \right) R_1.$$

Если в мосте Кольрауша сопротивления R_2 и R_3 равны, то уравнение запишется в виде $R_x = R_1$.

Таким образом, в ходе эксперимента подбирается только сопротивление R_1 , которое в момент баланса будет равно искомому сопротивлению R_x .

В мосте переменного тока достичь полного равенства потенциалов в точках B и D невозможно, так как в цепи переменного тока кроме **активного омического сопротивления R** существует **реактивное сопротивление ($X_L - X_C$)** (где X_L – индуктивное сопротивление, X_C – ёмкостное сопротивление). Индуктивное сопротивление X_L определяется выражением





Учреждение образования
«Белорусская государственная
орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени
сельскохозяйственная академия»



$X_L = L\omega$, где L – индуктивность, Гн (генри); ω – круговая частота, с^{-1} ($\omega = 2\pi\nu$). Ёмкостное сопротивление равно: $X_C = \frac{1}{C\omega}$, где C – электрическая ём-

кость, Ф.

Полное сопротивление цепи переменного тока Z , называемое **импедансом**, определяется выражением

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}$$

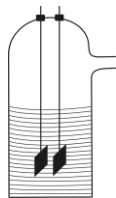
Таким образом, баланс моста определяется не отношением сопротивлений, а отношением импедансов:

$$\frac{Z_1}{Z_x} = \frac{Z_2}{Z_3}.$$

Чтобы добиться полного равенства потенциалов в точках B и D , нужно, по возможности, устранить реактивные сопротивления в отдельных плечах моста Кольрауша. Для этого следует брать короткие соединительные провода, контакты тщательно зачищать и пропаивать, ветви моста экранировать, а экран заземлять. Однако все эти меры не устраняют ёмкостного сопротивления кондуктометрической ячейки.

Кондуктометрическая ячейка – это система, состоящая из сосуда с раствором электролита и двух погруженных в раствор электродов (на рис. 1 она обозначена как сопротивление R_x в плече моста BC). На рис. 2, *a* представлена принципиальная схема кондуктометрической ячейки. Электроды ячейки изготовляют из платины, графита или нержавеющей стали; они закрепляются в обойме, крышке сосуда или впаиваются в стенки сосуда. Расстояние между электродами во время измерения сопротивления должно быть строго фиксированным.

a



б

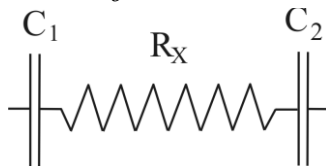


Рис. 2. Кондуктометрическая ячейка:

a – принципиальная схема; *б* – эквивалентная электрическая схема





Кондуктометрическую ячейку можно представить эквивалентной электрической схемой (рис. 6, б), где R_X – омическое сопротивление (определяемая величина), C_1 и C_2 – электрические емкости на поверхности раздела "электрод – раствор электролита". В кондуктометрической ячейке нет систем, подобных катушкам индуктивности, поэтому индуктивность ячейки L равна нулю. В соответствии с формулой (30) импеданс кондуктометрической ячейки определяется как

$$Z_X = \sqrt{R_X^2 + \left(\frac{1}{\omega C_1} + \frac{1}{\omega C_2} \right)^2}.$$

Тогда после устранения реактивных сопротивлений в отдельных ветвях моста соотношение импедансов примет вид

$$\frac{R_1}{\sqrt{R_X^2 + \left(\frac{1}{\omega C_1} + \frac{1}{\omega C_2} \right)^2}} = \frac{R_2}{R_3}.$$

Обычно $R_X \gg \frac{1}{\omega C_1} + \frac{1}{\omega C_2}$, поэтому для приближенных расчетов можно

использовать уравнения. Наличие емкостных сопротивлений C_1 и C_2 ячейки не позволяет свести к нулю силу тока в диагонали BD . В связи этим находят такое сопротивление R_1 (если $R_2 = R_3$), при котором сила тока в измерительной диагонали моста BD оказывается наименьшей (это соответствует, например, минимальному отклонению стрелки гальванометра). При точных измерениях сопротивление компенсируют с помощью дополнительного конденсатора переменной емкости, включенной в цепь постоянного сопротивления.

Опыт 1. *Определение электрической проводимости растворов слабого электролита различной концентрации*

Порядок выполнения

1. Определите постоянную кондуктометрической ячейки.
2. Для слабого электролита, указанного преподавателем, найдите по справочнику значения константы диссоциации и предельной молярной электропроводности λ_0 .
3. Путём последовательных разбавлений исходного раствора слабого электролита молярностью $C = 10$ моль/м³ получите серию из восьми растворов различной молярности (в моль/м³): 10; 5,0; 2,5; 1,3; 0,7; 0,4; 0,2; 0,1.





Учреждение образования
«Белорусская государственная
орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени
сельскохозяйственная академия»



4. Измерьте сопротивление раствора электролита в порядке возрастания концентраций.

Перед измерением стакан и электроды кондуктометрической ячейки тщательно промойте дистиллированной водой и наиболее разбавленным раствором этого электролита, после чего влейте в стакан отмеренные с помощью пипетки 50 мл раствора и поместите в него электроды кондуктометрической ячейки. Стакан с раствором выдержите 15 мин при температуре опыта, затем измерьте сопротивление. При замене раствора стакан и электроды ополаскивайте только исследуемым раствором.

5. На основании полученных экспериментальных данных:

- вычислите удельную κ и молярную λ электропроводность каждого раствора;
- рассчитайте степень электролитической диссоциации α каждого раствора;
- рассчитайте константу диссоциации K_d каждого раствора;
- рассчитайте среднюю константу диссоциации, сравните опытное значение со справочным, оцените погрешность ε ;
- постройте график зависимости удельной электропроводности от концентрации $\kappa = f(C)$;
- постройте график зависимости молярной электропроводности от концентрации $\ln \lambda = f(\ln C)$;
- сделайте выводы.

Форма отчета

Исследуемый электролит _____

Температура опыта, К _____

Сопротивление 0,02 н раствора KCl, Ом _____

Постоянная кондуктометрической ячейки $K_c, \text{м}^{-1}$ _____

Справочное значение константы диссоциации электролита _____

Справочное значение предельной молярной электропроводности $\lambda_0, \text{См} \cdot \text{м}^2 / \text{моль}$ _____

Результаты измерений и расчетов:

№ п/п	$C, \text{моль/м}^3$	$R, \text{Ом}$	$\kappa, \text{См/м}$	$\lambda, \text{См} \cdot \text{м}^2 / \text{моль}$	α	K_d	\bar{K}_d
1							
2							
3							
4							





Учреждение образования
«Белорусская государственная
орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени
сельскохозяйственная академия»



5							
6							
7							
8							

Расчеты по формулам _____

Оценка погрешности в измерении константы диссоциации ε , % ____

Графики _____

Выводы _____

Опыт 2. *Определение электрической проводимости растворов сильного электролита различной концентрации*

Порядок выполнения

1. Определите постоянную кондуктометрической ячейки.
2. Для сильного электролита, указанного преподавателем, определите по справочнику значение предельной молярной электропроводности $\lambda_0^{\text{спр}}$.
3. Путём последовательных разбавлений исходного раствора сильного электролита молярностью $C = 10$ моль/м³ получите серию из восьми растворов различной молярности (в моль/м³): 10; 5,0; 2,5; 1,3; 0,7; 0,4; 0,2; 0,1.
4. Измерьте сопротивление раствора электролита в порядке возрастания молярности. Перед измерением стакан и электроды кондуктометрической ячейки тщательно промойте дистиллированной водой и наиболее разбавленным раствором этого электролита, после чего влейте в стакан отмеренные с помощью пипетки 50 мл раствора и поместите в него электроды кондуктометрической ячейки. Стакан с раствором выдержите 15 мин при температуре опыта, затем измерьте сопротивление. При замене раствора стакан и электроды ополаскивайте только исследуемым раствором.
5. На основании полученных экспериментальных данных:
 - а) вычислите удельную κ и молярную λ электропроводность каждого раствора;
 - б) постройте график зависимости удельной электропроводности от концентрации $\kappa = f(C)$;
 - в) постройте график зависимости молярной электропроводности от концентрации $\lambda = f(\sqrt{C})$;
 - г) методом графической экстраполяции прямой $\lambda = f(\sqrt{C})$ на ось ординат определите опытное значение предельной молярной электропроводности





Учреждение образования
«Белорусская государственная
орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени
сельскохозяйственная академия»



$\lambda_0^{оп}$, сравните опытное значение $\lambda_0^{оп}$ со справочным $\lambda_0^{спр}$ $\lambda_0^{спр}$, оцените погрешность ε ;

д) сделайте выводы.

Форма отчета

Исследуемый электролит _____

Температура опыта, К _____

Сопротивление 0,02 н раствора КСl, Ом _____

Постоянная кондуктометрической ячейки К, м⁻¹ _____

Справочное значение предельной молярной электропроводности $\lambda_0^{спр}$,

См·м²/моль _____

Результаты измерений и расчетов:

№ п/п	С, моль/м ³	$\frac{\sqrt{C}}{\sqrt{\text{МОЛЬ/М}^3}}$	R, Ом	κ, См/м	λ, См·м ² /моль	$\lambda_0^{оп}$, См·м ² /моль
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

Расчеты по формулам _____

Графики _____

Оценка погрешности в измерении предельной молярной электропроводности ε , % _____

Выводы _____





Учреждение образования
«Белорусская государственная
орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени
сельскохозяйственная академия»



ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Ахметов, Н. С. Общая и неорганическая химия: Учебник для вузов/ Н. С. Ахметов. – М.: Высш. шк., 2006. – 743. .
2. Гольбрайх, З. Е. Сборник задач и упражнений по химии: Учеб. пособие/ З. Е. Гольбрайх.–М.:ООО «Издательство Астрель»,2004.–383с
3. Коровин, Н. В. Общая химия:учебник для технических направ. и спец. вузов / Н. В. Коровин. – М.: Высш. шк., 2005. – 557 с.:ил.
4. Руководство к изучению курса “Общая и неорганическая химия”: Пособие для студентов нехимических специальностей / И. Е. Шиманович [и др.]; под ред. И.Е. Шимановича. – 3-е изд. – Минск: РИВШ, 2008. – 112 с.
- 5.Химия. Лабораторный практикум: учеб. пособие/А. Р. Цыганов, О. В. Поддубная, И. В. Ковалева.–Минск: ИВЦ Минфина, 2015. – 320 с.
- 6.Угай Я. А. Общая и неорганическая химия: Учебник для вузов/ Я. А. Угай. 4-е изд. – М.: Высш. шк., 2004. – 440 с.
- 7.Химия: учебно-методический комплекс: учебно-методическое пособие / О. В. Поддубная, И.В. Ковалева и др. – Горки: БГСХА, 2011. – 452 с.
- 8.Цыганов, А. Р. Сборник задач и упражнений по химии: Учеб. пособие / А. Р. Цыганов, О. В. Поддубная. – Минск: ИВЦ Минфина, 2013. – 236 с.

Дополнительная

1. Введение в лабораторный практикум по неорганической химии: Учеб. пособие / В.В. Свиридов, Г.А.Попкович и др. – Мн : Выш. шк., 2003. – 96 с.
2. Жарский, И. М.Теоретические основы химии: сборник задач: Учеб. пособие. – Минск.: Аверсев, 2004. – 397 с.
- 3.Степин, Б. Д. Неорганическая химия: Учебник для вузов/ Б. Д. Степин, А.А. Цветков. – М.: Высш. шк., 1994. – 608 с.
- 4.Колотыркин, Я.М. Металл и коррозия / Я.М. Колотыркин. – М.: Metallurgy, 2005. –388 с.
5. Общая химия в формулах, определениях, схемах / под ред. В. Ф. Тикавого. – Минск: Университетское, 1996. – 560 с.
- 6.Улиг, Г.Г., Ревя Р.У. Коррозия и борьба с ней / Г.Г. Улиг, Р.У.Ревя. –Л.: Химия, 1989. –456 с.

Справочники:

1. Краткий химический справочник. – М.: Химия,1977.
2. Лидин, Р.А. Химические свойства неорганических веществ/ Под ред. Р.А. Лидина. – 5-е изд., стер. – М.: КолосС, 2008, – 480 с.





Учреждение образования
«Белорусская государственная
орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени
сельскохозяйственная академия»



Составители

Поддубная Ольга Владимировна
Ковалева Ирина Владимировна
Мохова Елена Владимировна
Шагитова Марина Николаевна

