

Проводимость сильных и слабых электролитов с Cobra SMARTsense



Можно различать сильные и слабые электролиты, измеряя их электрическую проводимость. Сильные электролиты подчиняются закону Кольрауша, тогда как слабые электролиты описываются законом разбавления Оствальда. Исследование концентрационной зависимости проводимости позволяет определять молярную проводимость бесконечно разбавленных электролитов и облегчает расчет степени диссоциации и констант диссоциации слабых электролитов.

Химия → Физическая химия → Электрохимия → Удельная проводимость



Уровень сложности

средний



Размер группы

2



Время подготовки

30 Минут



Время выполнения

20 Минут



Общая информация

Описание



Экспериментальная
установка

Электропроводность растворов электролитов свидетельствует о том, что ионные кристаллы растворяются в воде с образованием электрически заряженных частиц (ионов). Образовавшиеся ионы мигрируют в электрическом поле и, таким образом, обеспечивают перенос тока. Электрическое поле создается двумя погруженными в раствор электродами. Отрицательно заряженный катод притягивает положительные ионы, которые называются катионами. Отрицательные ионы, мигрирующие к аноду, наоборот, называются анионами. Если бы образовывались нейтральные молекулы, то электролитической проводимости не было бы.

В основном, сильные и слабые электролиты отличаются тем, что в сильных электролитах практически все растворенное вещество разложилось (диссоциировало) на катионы и анионы, тогда как в слабых электролитах это происходит лишь в определенной степени.

Дополнительная информация (1/2)

PHYWE
excellence in science

Предварительные знания



Студенты должны быть знакомы с основами электрохимии. Кроме того, студенты должны уметь работать автономно с химическими реактивами и быть знакомы с надлежащей лабораторной практикой.

Научный принцип



Можно различать сильные и слабые электролиты, измеряя их электрическую проводимость. Сильные электролиты подчиняются закону Кольрауша, тогда как слабые электролиты описываются законом разбавления Оствальда. Исследование зависимости проводимости вещества от концентрации позволяет определять молярную проводимость бесконечно разбавленных электролитов и облегчает расчет степени диссоциации и констант диссоциации слабых электролитов.

Дополнительная информация (2/2)

PHYWE
excellence in science

Цель обучения



Студенты научатся различать сильные и слабые электролиты по их проводимости. Кроме того, они научатся рассчитывать константу диссоциации и молярную проводимость.

Задачи



1. Определите зависимость электропроводности от концентрации хлорида калия и уксусной кислоты.
2. Рассчитайте молярную проводимость, используя данные проведенных измерений, и определите молярную проводимость при бесконечном разбавлении методом экстраполяции.
3. Определите константу диссоциации уксусной кислоты.

Инструкции по технике безопасности

PHYWE
excellence in science



Для этого эксперимента применяются общие инструкции по безопасному проведению экспериментов при преподавании естественных наук.

Правила работы с опасными веществами приведены в соответствующих паспортах безопасности!

Утилизация:

Разбавленные растворы хлорида калия и уксусной кислоты можно смыть в канализацию.

Теория (1/2)

PHYWE
excellence in science

Сопротивление проводника, имеющего однородное поперечное сечение, пропорционально длине l и обратно пропорционально площади поперечного сечения A проводника.

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} = \frac{l}{\kappa \cdot A} = \frac{l}{L} \quad (1)$$

Константа вещества ρ называется удельным сопротивлением; κ - величина, обратная удельному сопротивлению - удельная проводимость, а L - величина, обратная сопротивлению - проводимость. Обычно, для металлических проводников используется ρ , а для электролитов - κ . Электропроводность раствора электролита получается следующим образом:

$$\kappa = \frac{l}{R} \cdot \frac{l}{A} = \frac{l}{A} \cdot L \quad (2)$$

имеющая размерность $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$.

Теория (2/2)

Если необходимо измерить проводимость раствора, необходимо знать размеры ячейки (длину и площадь). Поэтому ячейку обычно калибруют раствором с известной проводимостью. Отношение измеренной проводимости калибровочного раствора к табличной проводимости непосредственно дает отношение длины к поперечному сечению. Это соотношение также известно как постоянная ячейки. Обычно его можно найти в прилагаемом сертификате испытаний.

Из-за сильной зависимости от концентрации электропроводность не подходит для сравнения электролитов. Для этих целей лучше определить молярную проводимость Λ . Она рассчитывается на основе удельной проводимости k и концентрации c (моль \cdot л⁻¹) вещества в растворе электролита:

$$\Lambda_m = \frac{\kappa}{c} \quad (3)$$

Оборудование

Позиция	Материал	Пункт No.	Количество
1	Cobra SMARTsense - Проводимость, 0...20000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 0...100°C (Bluetooth)	12922-00	1
2	Программное обеспечение "measureLAB" многократная лицензия	14580-61	1
3	Магнитная мешалка без подогрева для 3 л, 230 В	35761-99	1
4	Магнитная мешалка, цилиндрическая, 15 мм	46299-01	1
5	Подставка для штатива Бунзена, 210x130 мм, h=750 мм	37694-00	1
6	Держатель для датчиков	12960-00	1
7	Мензурка, высокая, 150 мл	46032-00	2
8	Мерная колба, 250 мл, NS14/23	36550-00	4
9	Мерная колба, 500 мл, NS19/26	36551-00	4
10	Мерная колба, 1000 мл, NS24/29	36552-00	6
11	Воронка, верхний d=80 мм, стекло	34459-00	1
12	Мерная пипетка, 1 мл	36575-00	2
13	Мерная пипетка, 5 мл	36577-00	4
14	Мерная пипетка, 100 мл	36582-00	1
15	Шаровая пипетка	36592-00	1
16	Лоток для пипеток	36589-00	1
17	Пипетки Пастера, l=145 мм, 250 шт.	36590-00	1
18	Резиновые наконечники для пипеток, 10 шт.	39275-03	1
19	Ложка, спец. сталь	33398-00	1
20	Эксикатор, WERTEX, d=150 мм	34126-00	1
21	Фарфоровая пластина для эксикатора, 150 мм	32474-00	1
22	Кристаллизационная чашка, 100 мм	46243-00	1
23	Промывалка, пластмасса, 500 мл	33931-00	1
24	Силикагель, оранжев., гранулы, 500 г	30224-50	1
25	Раствор уксусной кислоты, 1 моль/л, 1000 мл	48127-70	1
26	Хлорид калия, 250 г	30098-25	1
27	Вода, дистиллирован., 5 л	31246-81	1
28	Держатель для датчиков с опорным стержнем	12680-00	1
29	Мензурка, высокая, 250 мл	46027-00	1
30	Чашечки для взвешивания, 500 шт.	45019-50	1
31	Силиконовая смазка, 50 г	31863-05	1
32	Эталонный раствор, 1413 мкS/cm (25°C), 460 мл	47070-02	1



Подготовка и выполнение работы

Подготовка (1/6)

Приготовьте растворы, необходимые для эксперимента, следующим образом (1/4):

- 0,1 молярный раствор KCl : Взвесьте 7,4551 г сухого хлорида калия (эксикатор) в мерную колбу объемом 1000 мл, добавьте немного дистиллированной воды для ее растворения, а затем долейте до калибровочной отметки дистиллированную воду.
- 0,05 молярный раствор KCl : Взвесьте 3,7275 г сухого хлорида калия (эксикатор) в мерную колбу объемом 1000 мл, добавьте немного дистиллированной воды для ее растворения, а затем долейте до калибровочной отметки дистиллированную воду.
- 0,01 молярный раствор KCl : Перенесите пипеткой 25 мл 0,1-молярного раствора KCl в мерную колбу объемом 250 мл и долейте до отметки дистиллированную воду.
- 0,005 молярный раствор KCl : Перенесите пипеткой 25 мл 0,05-молярного раствора KCl в мерную колбу объемом 250 мл и долейте до отметки дистиллированную воду.

Подготовка (2/6)

PHYWE
excellence in science

Приготовьте растворы, необходимые для эксперимента, следующим образом (2/4):

- 0,001 молярный раствор KCl : Перенесите пипеткой 5 мл 0,1 -молярного раствора KCl в мерную колбу объемом 500 мл и долейте до отметки дистиллированную воду.
- 0,0005 молярный раствор KCl : Перенесите пипеткой 5 мл 0,05 -молярного раствора KCl в мерную колбу объемом 500 мл долейте до отметки дистиллированную воду.
- 0,0001 молярный раствор KCl : Перенесите пипеткой 1 мл 0,1 -молярного раствора KCl в мерную колбу объемом 1000 мл долейте до отметки дистиллированную воду.

Подготовка (3/6)

PHYWE
excellence in science

Приготовьте растворы, необходимые для эксперимента, следующим образом (3/4):

- 0,1 молярный раствор CH_3COOH : Пипетируйте 100 мл 1 молярного раствора уксусной кислоты в мерную колбу объемом 1000 мл и затем доведите до калибровочной отметки дистиллированной водой.
- 0,05 молярный раствор CH_3COOH : Пипетируйте 50 мл 1 молярного раствора уксусной кислоты в мерную колбу объемом 1000 мл и доведите до калибровочной отметки дистиллированной водой.
- 0,01 молярный раствор CH_3COOH : Налейте 25 мл 0,1 молярного раствора CH_3COOH в мерную колбу объемом 250 мл и доведите до отметки дистиллированной водой.
- 0,005 молярный раствор CH_3COOH : Налейте 25 мл 0,05 молярного раствора CH_3COOH в мерную колбу объемом 250 мл и доведите до отметки дистиллированной водой.

Подготовка (4/6)

PHYWE
excellence in science



Приготовьте растворы, необходимые для эксперимента, следующим образом (4/4):

- 0,001 молярный раствор CH_3COOH : Налейте 5 мл 0,1 молярного раствора CH_3COOH в мерную колбу объемом 500 мл и доведите до отметки дистиллированной водой.
- 0,0005 молярный раствор CH_3COOH : Налейте 5 мл 0,05 молярного раствора CH_3COOH в мерную колбу объемом 500 мл и доведите до отметки дистиллированной водой.
- 0,0001 молярный раствор CH_3COOH : Пипетируйте 1 мл 0,1 молярного раствора CH_3COOH в мерную колбу объемом 1000 мл и доведите до отметки дистиллированной водой.

Подготовка (5/6)

PHYWE
excellence in science

Рис. 1: Экспериментальная установка


- Ознакомьтесь с программным обеспечением PHYWE measureLAB, используя подробное руководство, которое можно найти в запущенной программе в разделе 
- Настройте эксперимент, как показано на рис. 1.
- Запустите компьютер и программное обеспечение PHYWE measureLAB, если оно еще не запущено. 
- Вызовите программу "measureLAB" и загрузите эксперимент P3060660 ("Проводимость сильных и слабых электролитов с помощью Cobra SMARTsense"). Параметры измерения для этого эксперимента уже загружены.

Подготовка (6/6)

PHYWE
excellence in science

Калибровка датчика проводимости Cobra SMARTsense:

Как правило, датчик не требует калибровки. темне менее, для достижения высокой точности откалибруйте датчик с помощью стандартного раствора (при 25 °C и $C = 1413 \frac{\text{мКСМ}}{\text{см}}$) в соответствии с руководством по эксплуатации датчика и с помощью настроек в measureLAB:

- Перейдите  в раздел "Датчики/ каналы" и выберите "Проводимость ρ". Чтобы выполнить калибровку по двум точкам, нажмите на "Калибровка датчика".
- Введите скорректированное значение электропроводности при данной температуре. Вы можете найти это значение на этикетке стандартного раствора (при 25 °C и $C = 1413 \frac{\text{мКСМ}}{\text{см}}$).
- Нажмите кнопку "Применить скорректированное значение" и повторите этот шаг для второй точки калибровки.


Выполнение работы (1/4)

PHYWE
excellence in science


- При измерении проводимости всегда начинайте с раствора, имеющего самую низкую концентрацию в каждой серии измерений.
- Перед каждым новым измерением тщательно промойте зонд, мензурку и стержень магнитной мешалки сначала дистиллированной водой, а затем раствором, который необходимо впоследствии измерить.
- Определите проводимость дистиллированной воды, которая используется для разбавления растворов, и запишите результат. Это необходимо для того, чтобы при оценке учитывалась проводимость воды.
- Установите на магнитную мешалку мензурку со стержнем магнитной мешалки. Налейте первый измеряемый раствор хлорида калия в мензурку и погрузите в раствор на глубину примерно 5 см заранее хорошо промытый зонд проводимости.

Выполнение работы (2/4)

PHYWE
excellence in science




- Установите магнитную мешалку на среднюю скорость перемешивания.
- Запишите первое значение, нажав 
- Затем таким же образом определите соответствующие удельные проводимости других растворов, при этом в каждом случае измеряйте раствор со следующей более высокой концентрацией.

При записи серии измерений строго следите за чистотой, так как даже малейшие следы загрязнений (например, перенос части одного раствора в другой) могут привести к регистрации ошибочных данных.

- Остановите измерение, нажав 
- Повторите измерения таким же образом с другим электролитом.

Выполнение работы (3/4)

PHYWE
excellence in science

- Перейдите в базу данных  и выберите "Файл данных нового измерения"  Измените настройки канала в соответствии с рис. 2.
- Вернитесь в базу данных  и выберите созданный канал "Концентрация" и файл данных измерений для проводимости. Введите соответствующие значения концентрации в измеренные значения проводимости (рис. 3).

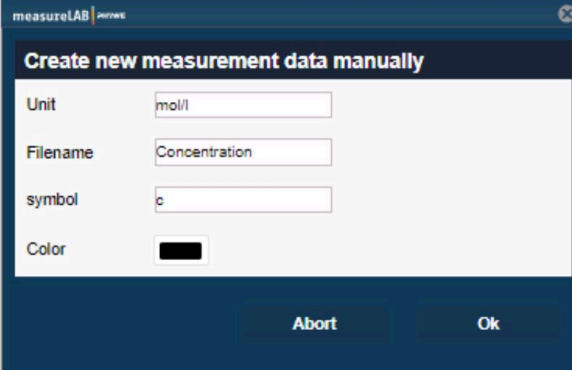
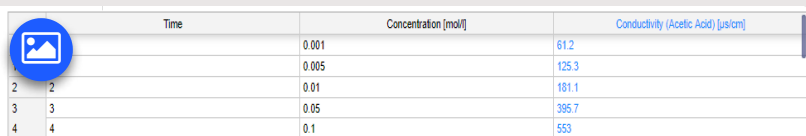


Рис. 2: Создание новых данных вручную




	Time	Concentration [mol/l]	Conductivity (Acetic Acid) [µs/cm]
		0.001	61.2
		0.005	125.3
2	2	0.01	181.1
3	3	0.05	395.7
4	4	0.1	553

Рис. 3: Примерная таблица

Выполнение работы (4/4)

PHYWE
excellence in science

- Теперь закройте все таблицы и диаграммы и перейдите в базу данных , где выберите канал "Концентрация", а также данные измерения проводимости и нажмите "Диаграмма". Программа представит необходимый график (рис. 4).

Это пример, экспериментальные результаты могут отличаться в зависимости от условий окружающей среды и чистоты растворов.

- Выполните изменения, используя ту же процедуру, что и с растворами уксусной кислоты.

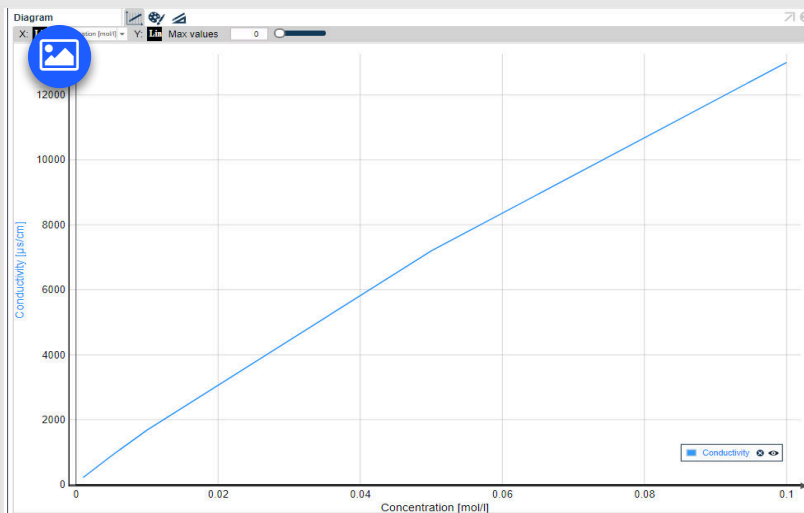


Рис. 4: Пример графика зависимости проводимости вещества от концентрации

Оценка (1/6)

PHYWE
excellence in science

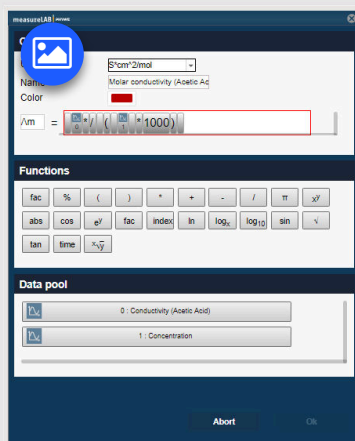




Рис. 5: Параметры изменения канала

- При исследовании в электролитах зависимости проводимости от концентрации обнаруживается, что проводимость в основном увеличивается с ростом концентрации, поскольку увеличивается число носителей заряда (ионов). График зависимости молярной проводимости от концентрации  можно рассчитать, задав параметры, приведенные на рис. 5 (для хлорида калия и уксусной кислоты, соответственно). В этой операции можно также вычесть проводимость дистиллированной воды.

Оценка (2/6)

- Чтобы отобразить диаграмму, перейдите в пул данных  и выберите сгенерированные каналы для соответствующих молярных проводимостей, а также канал концентрации (рис. 6).
- На диаграмме выберите "Концентрация" в качестве оси x (см. рис. 7).

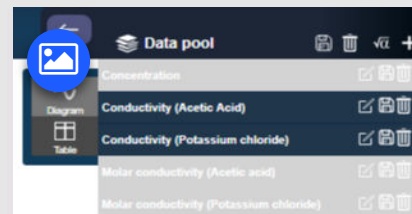


Рис. 6: Выберите соответствующие каналы для отображения диаграммы

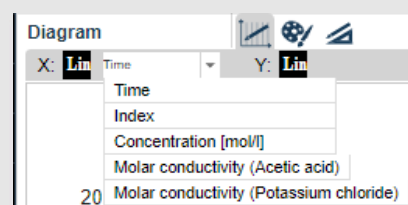


Рис. 7: Выберите "Концентрация" в качестве оси x

Оценка (3/6)

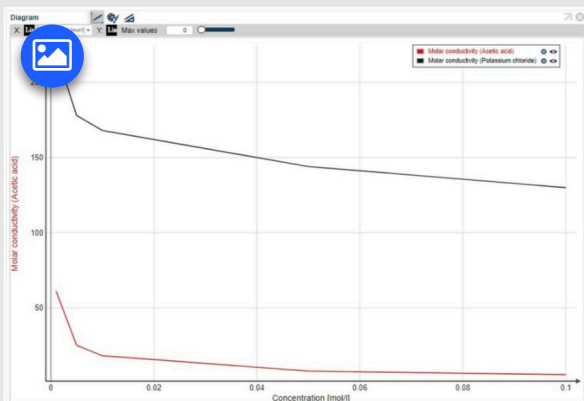


Рис. 8: Примерный результат для молярной проводимости хлорида калия и кислоты.

- На рис. 8 представлен пример результата измерения молярной проводимости хлорида калия и уксусной кислоты.

Это пример, экспериментальные результаты могут отличаться в зависимости от условий окружающей среды и чистоты растворов.

Оценка (4/6)

Молярная проводимость приближается к пределу Λ_{∞} с увеличением разбавления. Это и есть проводимость бесконечного разбавления. Кольрауш обнаружил следующее соответствие естественному закону концентрационной зависимости молярной проводимости для сильных электролитов:

$$\Lambda_m = \Lambda_{\infty} - \kappa \sqrt{c} \quad (4)$$

Согласно закону Кольрауша, построение графика зависимости молярной проводимости KCl от квадратного корня из концентрации должно дать прямую линию. Пересечение этой линии с ординатой является молярной проводимостью при бесконечном разбавлении.

Слабые электролиты не диссоциируют полностью и имеют более низкую проводимость, чем сильные электролиты. При увеличении концентрации равновесие диссоциации смещается в сторону недиссоциированных молекул. Степень диссоциации α слабых электролитов - это коэффициент молярной проводимости, деленный на молярную проводимость при бесконечном разбавлении:

$$\alpha = \frac{\Lambda_m}{\Lambda} \quad (5)$$

Оценка (5/6)

Закон разбавления Оствальда действителен для слабых электролитов. Он позволяет рассчитать константы диссоциации:

$$K = \frac{\alpha^2 \cdot c}{1 - \alpha} = \frac{\Lambda_m^2 \cdot c}{(\Lambda_{\infty} - \Lambda_m)\Lambda_{\infty}} \quad (6)$$

Предельное значение молярной проводимости слабых электролитов при бесконечном разбавлении впервые достигается при чрезвычайно низких концентрациях; поэтому точные измерения в этом случае уже невозможны.

Следовательно, Λ_{∞} не может быть получена путем экстраполяции $\frac{\Lambda_m}{\sqrt{c}}$ -кривых для слабых электролитов. Уравнение (7) выводится путем преобразования закона разбавления Оствальда:

$$\frac{1}{\Lambda_m} = \frac{1}{\Lambda_{\infty}} + \frac{\Lambda_m \cdot c}{\kappa \cdot \Lambda_{\infty}^2} \quad (7)$$

Оценка (6/6)

PHYWE
excellence in science

Из уравнения (7) видно, что существует линейная зависимость между величиной, обратной проводимости, произведением молярной проводимости и концентрацией слабых электролитов. Кроме того, закон разбавления Оствальда показывает, что молярная проводимость при бесконечном разбавлении может быть получена из точки пересечения линии с ординатой $\frac{1}{\Lambda_m}$ над $c \cdot \Lambda_m$.