

Методические рекомендации по организации демонстрационного эксперимента на учебных занятиях по химии с использованием датчика электропроводности

*А. С. Берестнев, методист отдела обеспечения средствами обучения
Национального института образования, магистр педагогических наук,
Д. И. Мычко, доцент кафедры неорганической химии Белорусского государственного
университета, кандидат химических наук*

В предыдущей публикации (Біялогія і хімія. — 2018. — № 9) нами были продемонстрированы возможности использования на уроках химии нового программно-аппаратного комплекса (ПАК) с комплектом датчиков [1], поставленного в учреждения общего среднего образования Республики Беларусь. Внедрение этих методик в организацию учебного процесса отвечает общим тенденциям развития цифровой экономики и информационного общества в Республике Беларусь [2].

В настоящей статье мы предлагаем учителям химии разработанные нами методики демонстрационного эксперимента с использованием датчика электропроводности растворов, включённого в ПАК. Все они согласуются с целями и содержанием учебных программ по учебному предмету «Химия» для VII—XI классов [3—6]. Их использование позволит расширить диапазон демонстраций и осовременит образовательный процесс.

Место проведения предлагаемых демонстраций — изучение темы 5 «Химия растворов» (XI класс).

Учебной программой предусмотрено рассмотрение следующих вопросов:

- электролитическая диссоциация соединений с различным типом химической связи;
- степень электролитической диссоциации;
- сильные и слабые электролиты;
- химические свойства оснований, кислот, солей в свете теории электролитической диссоциации.

Подобные измерения могут быть выполнены в расширенной форме как ученическое исследование на факультативных занятиях.

Для более глубокого осознания учащимися сути процессов электролитической диссоциации нами предлагаются следующие демонстрации с использованием датчика электропроводности (далее — ДЭ):

1. Электропроводность растворов электролитов и неэлектролитов.
2. Электропроводность растворов сильных и слабых электролитов.
3. Электропроводность растворов оснований, кислот и солей.
4. Электропроводность растворов электролитов с различным составом формульных единиц.
5. Зависимость электропроводности растворов от концентрации электролита.
6. Зависимость электропроводности растворов электролитов от температуры.
7. Электропроводность природных растворов: минеральная вода, фрукты, газированные безалкогольные напитки.

Приступая к демонстрациям, необходимо объяснить учащимся принцип работы датчика электропроводности. Это необходимо для осознанного восприятия ими демонстрируемых эффектов.

Знакомство с принципом работы датчика электропроводности вполне посилено для учащихся XI класса. Эти сведения дополняют знания, полученные ими при изучении основ теории электролитической диссоциации, раскрывают её прикладной аспект, демонстрируют основы современных методов познания, чем делают приобретаемые теоретические знания основой формирования компетенций.

Принцип работы датчика электропроводности и порядок подготовки его к работе рассмотрены в *Приложении 1* в конце данной статьи.

В *Приложении 2* приведена методика приготовления используемых в демонстрации растворов.

Методика проведения измерений электропроводности

Оборудование: датчик электропроводности, датчик температуры (термопарный)¹, программно-аппаратный комплекс (ПАК), персональный компьютер (ПК) или мультимедийная панель (интерактивная панель), штатив для закрепления датчиков, магнитная мешалка.

Реактивы: растворы кислот, щелочей, солей.

Подготовка экспериментальной установки и проведение измерений электропроводности растворов.

1. Закрепить в лабораторном штативе датчик электропроводности и датчик температуры (рис. 1, а).

2. С помощью кабеля USB подключить оба датчика ПАК к ПК.

3. Запустить программу на ПК двойным нажатием левой кнопки «мыши» по ярлыку «Digital Sensors 2» на рабочем столе либо нажать кнопку меню «Пуск» и выбрать «Программы/Digital Sensors 2». После запуска про-

граммы на экран выводится главное окно приложения «Цифровые датчики 2.0» (рис. 2).

Для начала работы с подключённым датчиком следует нажать на активную кнопку нужного датчика. При успешном подключении датчика к ПК кнопка соответствующего датчика станет активной (синей).

При повторном нажатии на активную кнопку в главном окне на экран выводится окно соответствующего датчика (рис. 3). Измерения начинаются автоматически. Программа может работать с восемью подключёнными датчиками (многооконный интерфейс пользователя).

4. Установить на магнитной мешалке стакан с исследуемым раствором и опустить в него датчики температуры и электропроводности (рис. 2, б). Регулируя нагревом панели мешалки, добиться установления в растворе температуры 25 °С. Для равномерного разогрева раствора по всему объёму его постоянно перемешивают.

5. Снять показания датчика электропроводности.

Процедура отключения датчика выполняется в обратной последовательности:

- закрыть окно датчика;
- отсоединить кабель USB от датчика.

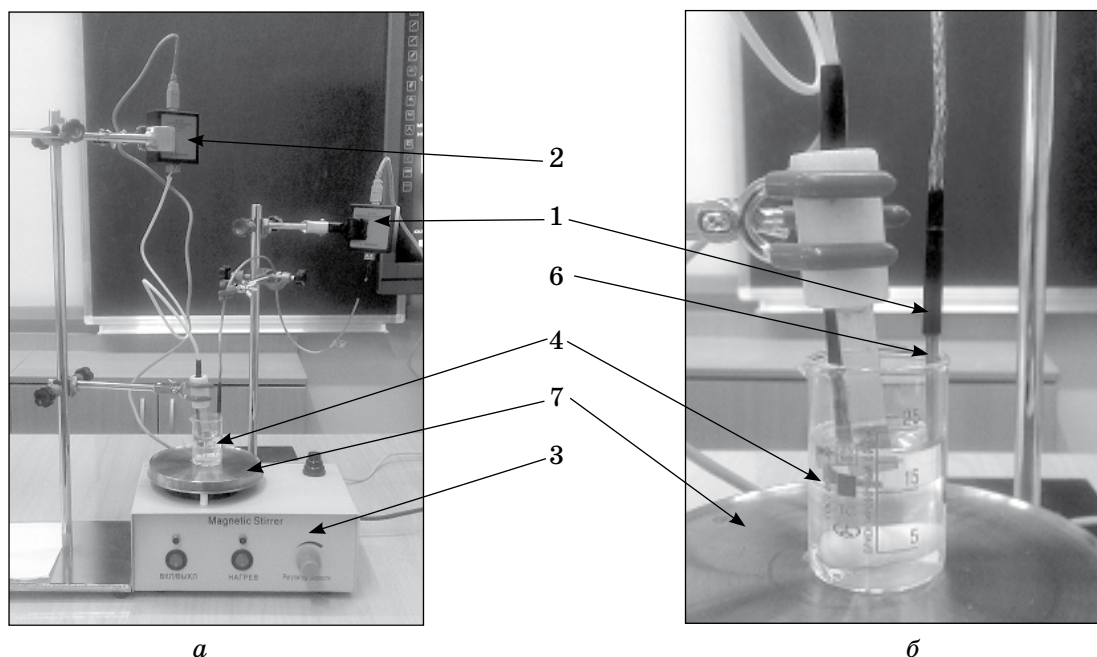


Рисунок 1 — Экспериментальная установка: а) общий план: 1 — датчик температуры, 2 — датчик электропроводности, 3 — магнитная мешалка, 4 — химический стакан с исследуемым раствором (25 мл); б) 5 — зонд с металлическими электродами датчика электропроводности, 6 — термопара, 7 — панель магнитной мешалки (может быть регулируемо разогрета до 120 °С)

¹ Датчик температуры используется в этом и последующих экспериментах как вспомогательный для контроля температуры.



Рисунок 2 — Главное окно приложения



Рисунок 3 — Окно «Датчик электропроводности растворов». Стрелочный индикатор отображает текущее значение удельной электропроводности раствора², ниже — цифровое значение удельной электропроводности раствора (в миллисименсах на сантиметр); справа — график зависимости значения удельной электропроводности от времени наблюдения

² Удельная электрическая проводимость раствора характеризует проводимость объема раствора, заключенного между двумя параллельными электродами, имеющими площадь по 1 м² и расположенными на расстоянии 1 м друг от друга. Единица измерения в системе СИ — сименсах на метр (См/м) или Ом⁻¹·м⁻¹.

Демонстрація 1. Испытание растворов на электрическую проводимость.

Цель: наглядно продемонстрировать основы теории электролитической диссоциации; показать различие между электропроводностью растворов электролитов и неэлектролитов.

Описание эксперимента:

1. В три химических стакана поместить по 20 мл: 1 — раствор NaCl (0,001 моль/дм³); 2 — раствор сахарозы (0,001 моль/дм³); 3 — дистиллированная вода.

2. Поочередно измерить их электропроводность.

3. Зафиксировать показания датчика по стрелочному индикатору (рис. 4) и предложить учащимся сделать вывод о различиях в электропроводности двух веществ, связав вывод со строением этих веществ: хлорид на-

трия — электролит, его раствор хорошо проводит электрический ток; сахароза — раствор практически не проводит электрический ток.

4. В случае выполнения исследовательского эксперимента построить таблицу по нескольким замерам электропроводности (таблица 1) и сравнительную диаграмму (рис. 5).

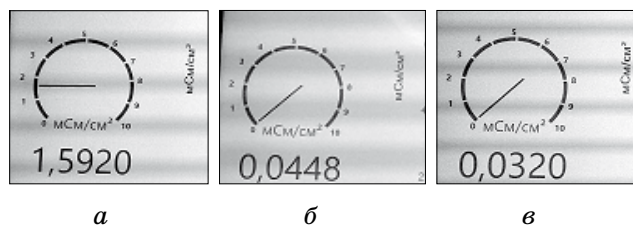


Рисунок 4 — Показания электропроводности исследуемых растворов: а — NaCl; б — C₁₂H₂₂O₁₁; в — вода дистиллированная

Таблица 1 — Электропроводность водных растворов NaCl и C₁₂H₂₂O₁₁ и H₂O

Номер замера	Значение электропроводности (мСм/см ²) ³		
	H ₂ O	(C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁) ⁴	NaCl
1	0,0320	0,0465	1,5920
2	0,0325	0,0448	1,5920
3	0,0320	0,0448	1,5920
Итого:	0,0322	0,0454	1,5920

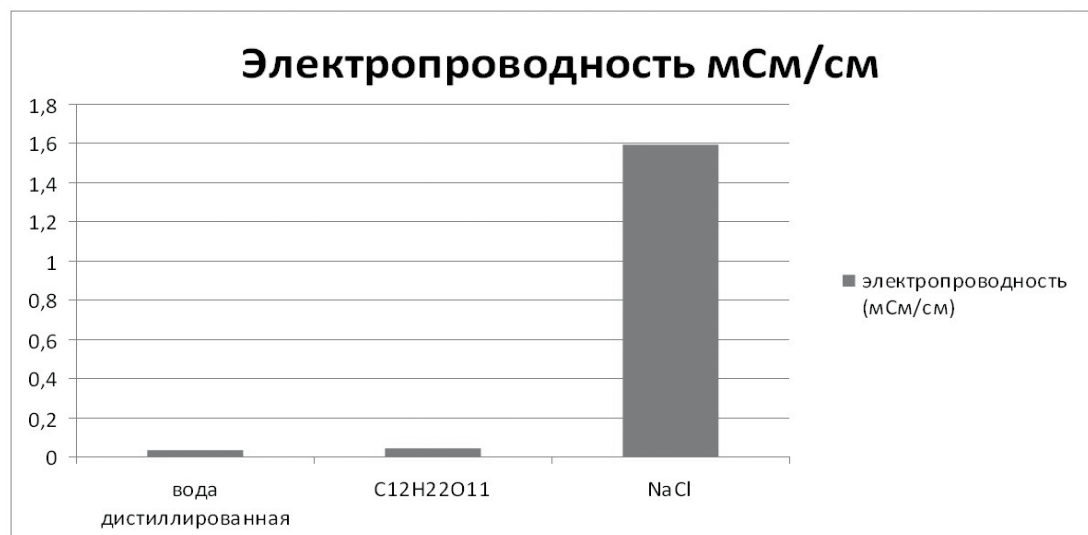


Рисунок 5 — Сравнительная диаграмма электропроводности растворов исследуемых веществ

³ Следует иметь в виду, что полученные в этих измерениях значения электропроводности являются экспериментальными. Истинные значения электрической проводимости растворов связаны с экспериментальными посредством поправочного коэффициента, который специально надо устанавливать [7].

⁴ Увеличение значения электропроводности раствора сахарозы по сравнению с чистой водой, по видимому, связано с электродными процессами в этом растворе

Демонстрация 2. Электропроводность растворов сильных и слабых электролитов.

Цель: продемонстрировать основы теории электролитической диссоциации; показать различие между электропроводностью растворов сильных и слабых электролитов.

Описание эксперимента.

В два химических стакана поместить по 20 мл раствора: в 1-м — хлороводородной кислоты (HCl, раствор 1); во 2-м — уксусной (CH₃COOH, раствор 2).

Последовательность дальнейших действий, как в демонстрации 1.

Результаты измерений представлены на рис. 6 и 7, таблица 2.

Вывод: раствор хлороводородной кислоты хорошо проводит электрический ток, поэтому эта кислота является сильным электролитом; раствор уксусной кислоты слабо проводит электрический ток, поэтому уксусная кислота — слабый электролит.

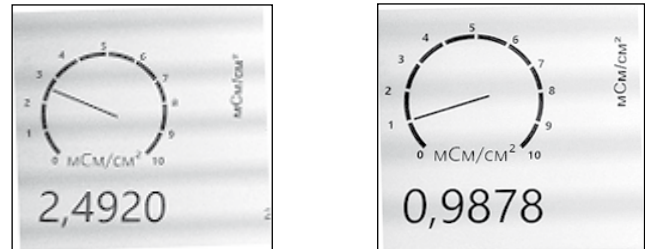


Рисунок 6 — Показания электропроводности растворов: а — HCl и б — CH₃COOH

Таблица 2 — Электропроводность растворов HCl и CH₃COOH (мСм/см)

Количество замеров	HCl			CH ₃ COOH		
	0,01 моль/дм ³	0,1 моль/дм ³	1 моль/дм ³	0,01 моль/дм ³	0,1 моль/дм ³	1 моль/дм ³
1	2,4920	4,0748	4,2555	0,9878	1,1205	2,8813
2	2,4995	4,0795	4,2535	0,9878	1,1206	2,8828
3	2,4818	4,0805	4,2553	0,9877	1,1205	2,8813
Итого	2,5000	4,0800	4,2600	0,9900	1,1300	2,8900

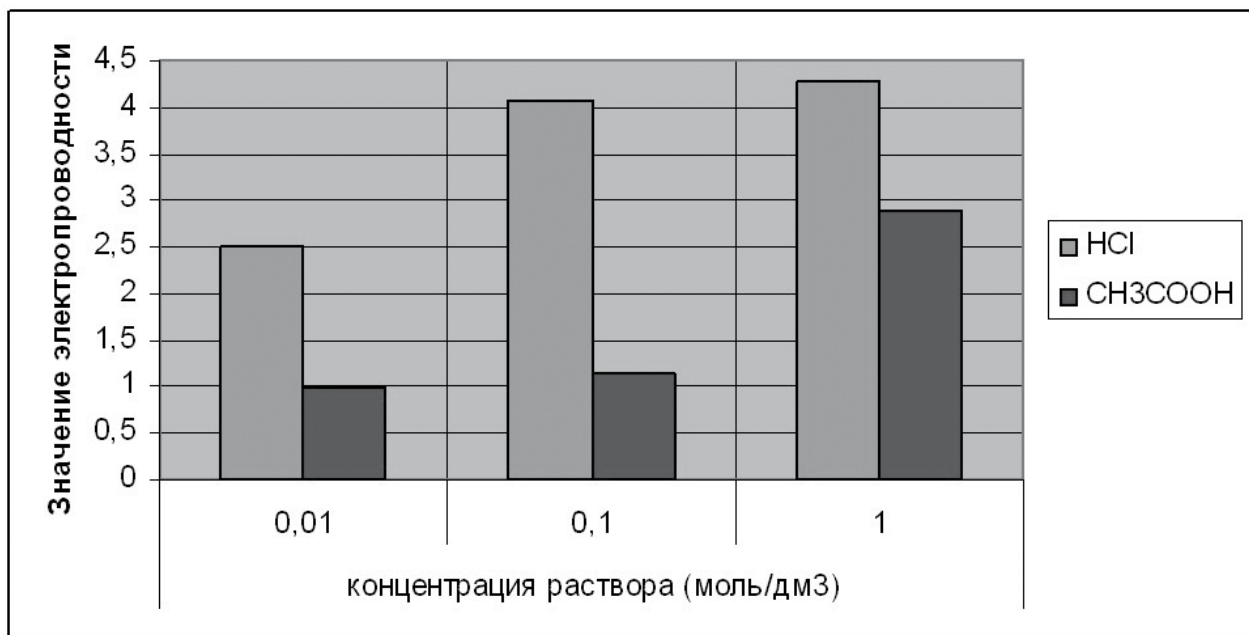


Рисунок 7 — Сравнительная диаграмма электропроводности растворов исследуемых веществ

Методыка навучання

Демонстрация 3. Электропроводность растворов оснований, кислот и солей.

Цель: продемонстрировать свойства оснований, кислот и щелочей в свете теории электролитической диссоциации.

Описание эксперимента:

В три химических стакана поместить по 20 мл раствора с концентрацией веществ 0,5 моль/дм³: в 1-й — HCl (раствор); во 2-й — NaOH; в 3-й — NaCl.

Последовательность дальнейших действий такая же, как в демонстрации 1.

Результаты измерений представлены на рисунках 8 и 9.

Вывод: растворы оснований, кислот и солей хорошо проводят электрический ток, поэтому являются электролитами.

В случае выполнения исследовательского эксперимента можно провести измерения

электропроводности растворов с разной концентрацией кислот (таблица 3).

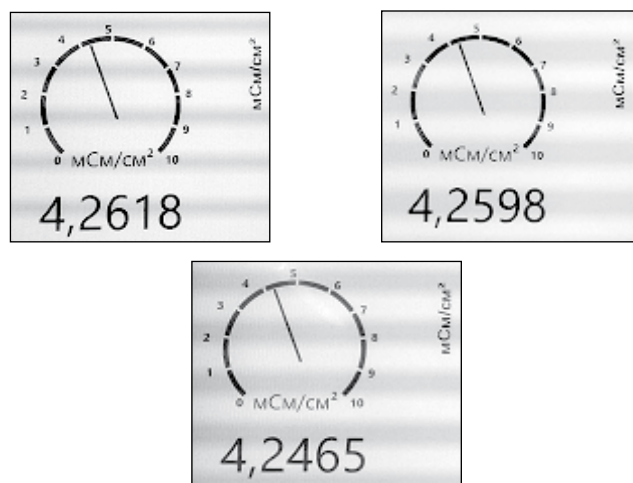


Рисунок 8 — Показания электропроводности исследуемых растворов: а — HCl; б — NaOH; в — NaCl

Таблица 3 — Электропроводность растворов (0,5 моль/дм³) HCl, NaOH, NaCl

Количество замеров	Электропроводность (мСм/см)		
	HCl	NaOH	NaCl
1	4,2603	4,2598	4,2465
2	4,2618	4,2598	4,2453
3	4,2603	4,2598	4,2465
Итого	4,2608	4,2598	4,2461

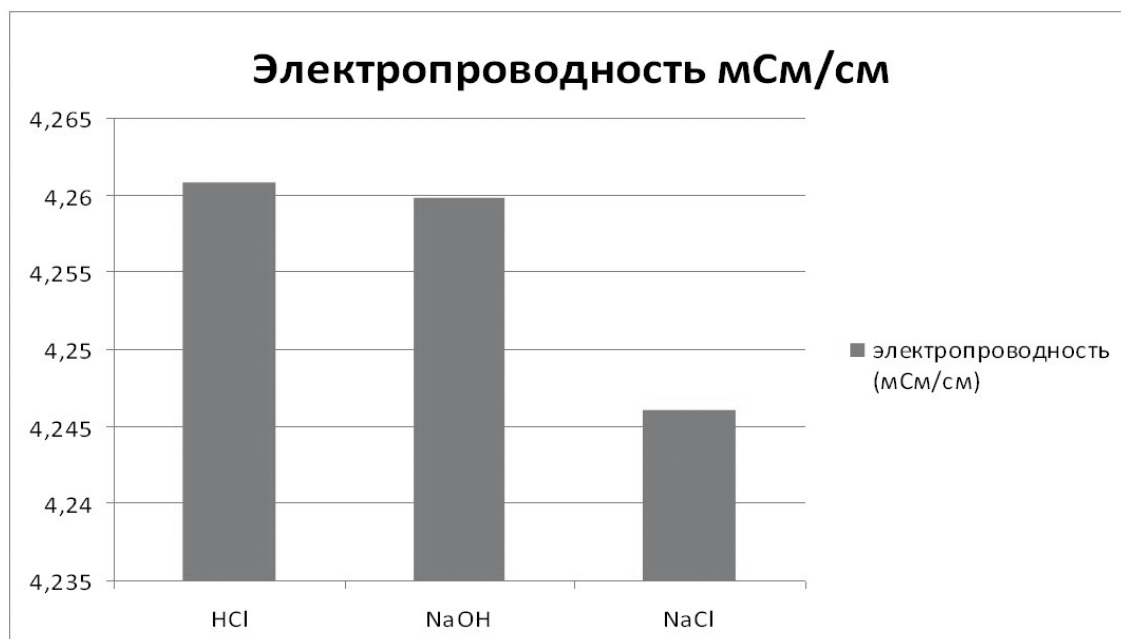


Рисунок 9 — Сравнительная диаграмма электропроводности растворов исследуемых веществ

Демонстрация 4. Электропроводность растворов электролитов с различным составом формульных единиц.

Цель: продемонстрировать основы теории электролитической диссоциации; сравнить электропроводность растворов солей — сильных электролитов, дающих при диссоциации разное число ионов.

Описание эксперимента:

В три химических стакана поместить по 20 мл 0,01 моль/л растворов: в 1-й — NaCl; во 2-й — Na₂SO₄; в 3-й — Na₃PO₄; в 4-й — HCl; в 5-й — H₂SO₄; 6-й — H₃PO₄.

Последовательность дальнейших действий такая же, как в демонстрации 1.

Результаты измерений представлены в таблицах 4 и 5.

Вывод: значение электропроводности раствора электролита зависит от природы электролита и, в частности, от состава его формульных единиц: чем на большее число ионов распадается ФЕ электролита, тем выше значение электропроводности.

В случае выполнения исследовательского эксперимента можно провести измерения электропроводности растворов с разной концентрацией веществ (рис. 10 и 11).

Таблица 4 — Электропроводность растворов NaCl, Na₂SO₄, Na₃PO₄ (мСм/см)

Количество замеров	NaCl			Na ₂ SO ₄			Na ₃ PO ₄		
	0,001 моль/дм ³	0,01 моль/дм ³	0,1 моль/дм ³	0,001 моль/дм ³	0,01 моль/дм ³	0,1 моль/дм ³	0,001 моль/дм ³	0,01 моль/дм ³	0,1 моль/дм ³
1	1,5920	2,9763	3,9778	2,6825	3,7328	4,0435	2,3688	3,6663	4,1420
2	1,5920	2,9763	3,9625	2,6803	3,7345	4,0410	2,3688	3,6843	4,1433
3	1,5920	2,9764	3,9778	2,6825	3,7588	4,0485	3,3555	3,6738	4,1470
Итого	1,5920	2,9800	3,9800	2,6900	3,7500	4,0500	2,7000	3,6800	4,1500

Таблица 5 — Электропроводность растворов HCl, H₂SO₄, H₃PO₄ (мСм/см)

Количество замеров	HCl			H ₂ SO ₄			H ₃ PO ₄		
	0,001 моль/дм ³	0,01 моль/дм ³	0,1 моль/дм ³	0,001 моль/дм ³	0,01 моль/дм ³	0,1 моль/дм ³	0,001 моль/дм ³	0,01 моль/дм ³	0,1 моль/дм ³
1	0,9310	2,4920	4,0748	1,1768	3,5205	4,1648	0,9320	1,5518	3,7608
2	0,9455	2,4995	4,0795	1,2218	3,5205	4,1623	0,9668	1,5523	3,7603
3	0,9310	2,4818	4,0805	1,1768	3,5238	4,1645	0,9320	1,5518	3,7608
Итого	0,9400	2,500	4,0800	1,2000	3,5300	4,1700	0,9500	1,5600	3,7700

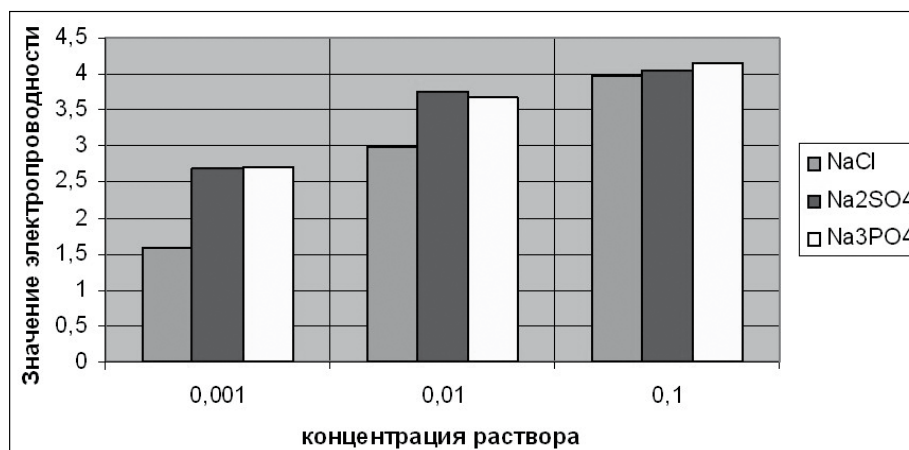


Рисунок 10 — Сравнительная диаграмма электропроводности растворов NaCl, Na₂SO₄, Na₃PO₄

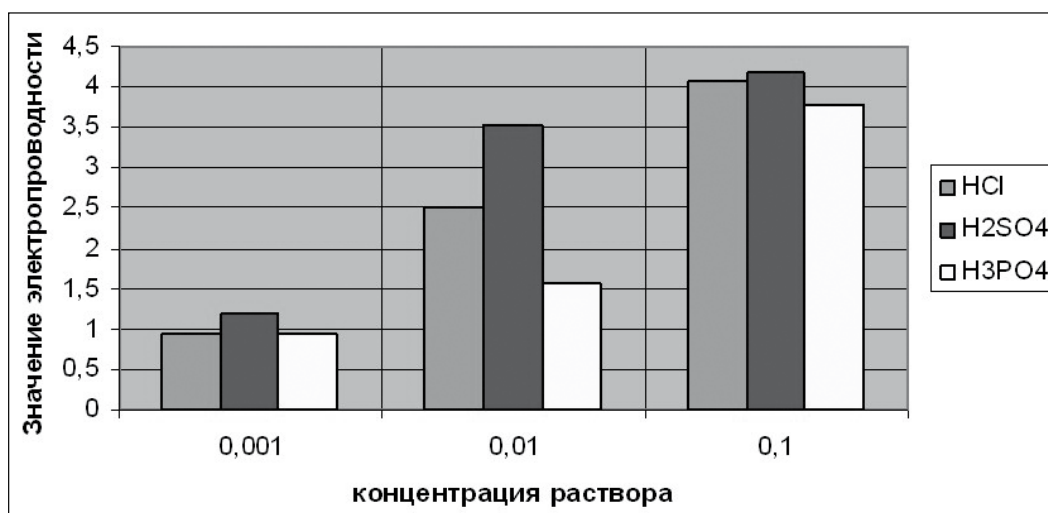


Рисунок 11 — Сравнительная диаграмма электропроводности растворов HCl, H₂SO₄, H₃PO₄

Демонстрация 5: Зависимость электропроводности растворов от концентрации электролита.

Цель: продемонстрировать зависимость электропроводности растворов от концентрации электролита.

Описание эксперимента:

В четыре химических стакана поместить по 20 мл растворов хлороводородной кислоты с различной концентрацией HCl (моль/дм³): 0,001; 0,01; 0,1 и 1.

Последовательность дальнейших действий такие же, как в демонстрации 1.

Результаты измерений представлены в таблице 6.

Вывод: электропроводность растворов зависит от концентрации электролита: с увеличением концентрации электролита в растворе растёт концентрация ионов — носителей заряда, поэтому увеличивается электропроводность раствора.⁵

Таблица 6 — Электропроводность растворов HCl с различным значением концентрации

Количество замеров	HCl			
	0,001 моль/дм ³	0,01 моль/дм ³	0,1 моль/дм ³	1 моль/дм ³
1	0,9310	2,4920	4,0748	4,2555
2	0,9455	2,4995	4,0795	4,2535
3	0,9310	2,4818	4,0805	4,2553
Итого	0,9400	2,500	4,0800	4,2600

Демонстрация 6. Зависимость электропроводности растворов электролитов от температуры.

Цель: продемонстрировать зависимость электропроводности растворов от температуры раствора.

Описание эксперимента.

В химический стакана поместить 20 мл раствора HCl с концентрацией 0,01 моль/дм³, установить его на панель магнитной мешалки, опустить в раствор термометр и зонд датчиков. Нагревая раствор на мешалке в диапазоне 30—70 °С, снимать показания датчика электропроводности через каждые 10°.

Результаты измерений представлены в таблице 7 и на рисунке 12.

⁵ При больших концентрациях электролита в растворе могут образоваться ионные пары. Это приведёт к тому, что часть ионов не будет участвовать в переносе электричества и электропроводность с повышением концентрации сильного электролита начнёт уменьшаться.

Вывод: электропроводность раствора хлороводородной кислоты с увеличением температуры возрастает.

Таблица 7 — Электропроводность раствора HCl с концентрацией 0,01 моль/дм³ при повышении температуры раствора

Количество замеров	HCl (0,01 моль/дм ³)				
	25 °C	35 °C	45 °C	55 °C	65 °C
1	2,4920	2,5270	2,7495	2,8988	3,0320
2	2,4995	2,5270	2,7495	2,8988	3,0320
3	2,4818	2,5270	2,7495	2,8988	3,0320
Итого	2,500	2,5270	2,7495	2,8988	3,0320

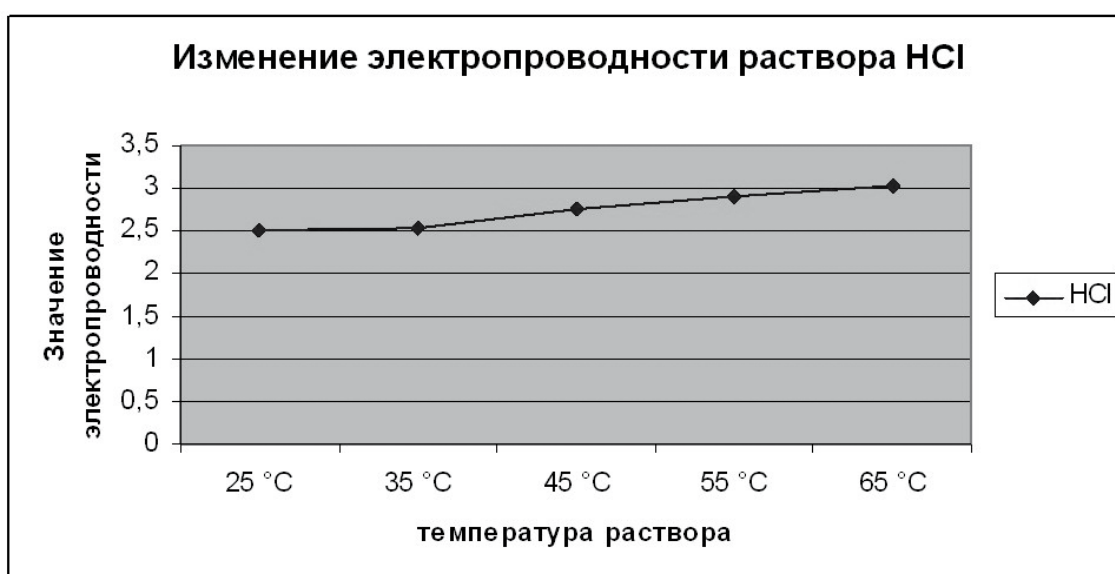


Рисунок 12 — График изменения электропроводности раствора HCl при повышении температуры раствора

Демонстрация 7. Электропроводность природных растворов (минеральная вода и фрукты) и газированных безалкогольных напитков.

Цель: продемонстрировать, что вещества, входящие в состав природных объектов и пищевых продуктов, являются электролитами.

Описание эксперимента.

Для исследования электропроводности можно взять минеральную воду и безалкогольные газированные напитки.

Последовательность измерения электропроводности растворов такая же, как и в предыдущих демонстрациях.

Для измерения электропроводности сока фруктов зафиксировать фрукты в штативе

и поместить в плоды зонд, снять показания электропроводности.

Результаты измерений представлены в таблице 8 и на рисунке 13.

Вывод: минеральные воды и газированные напитки, а также природные кислоты, содержащиеся в фруктах, обладают электропроводностью. Низкая электропроводность природных соков указывает на то, что они содержат кислоты, которые являются слабыми электролитами.

В случае выполнения исследовательского эксперимента можно расширить круг объектов измерения электропроводности растворов, провести сопоставление значения электропроводности с концентрацией кислоты или солей в этих объектах.

Таблица 8 — Электропроводность минеральной воды и безалкогольных напитков (мСм/см)

Количество замеров	«Дарида»	«Минская-4»	«Кока-кола»	«Спрайт»
1	3,4635	3,5583	1,3873	1,4080
2	3,4636	3,5584	1,3874	1,4079
3	3,4634	3,5585	1,3873	1,4081
Итого	3,4635	3,5584	1,3873	1,408

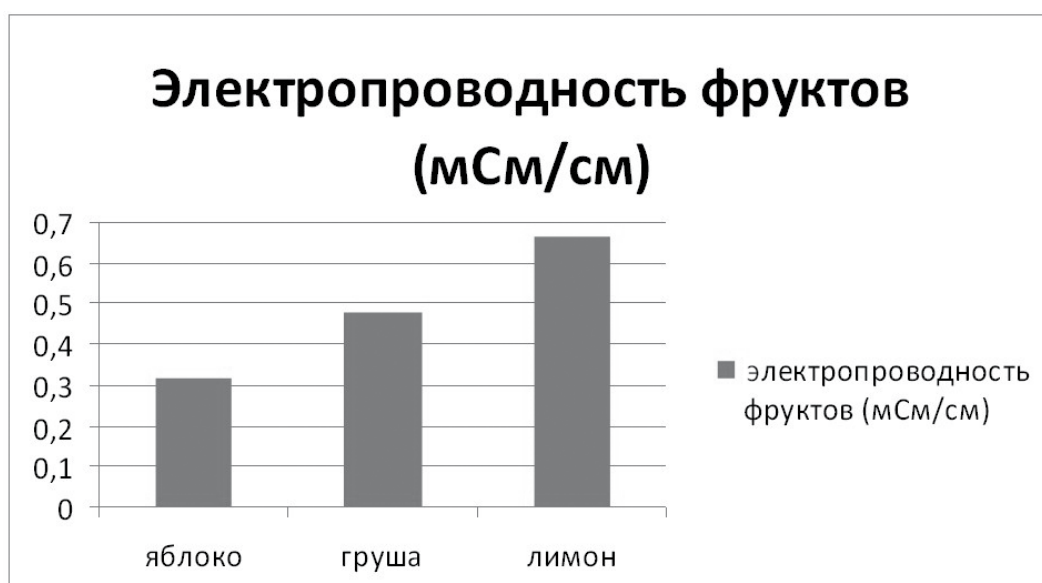


Рисунок 13 — Сравнительная диаграмма электропроводности фруктов

Список использованной литературы

1. Берестнев, А. С. Возможности использования программно-аппаратного комплекса с комплектом датчиков для повышения эффективности процесса обучения химии в учреждениях общего среднего образования Республики Беларусь / А. С. Берестнев, Д. И. Мычко // Біялогія і хімія. — 2018. — № 9. — С. 28—40.
2. Государственная программа развития цифровой экономики и информационного общества на 2016—2020 годы: утверждено Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 23.03.2016 № 235. [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.government.by/upload/docs/file4c1542d87d1083b5.PDF>. — Дата доступа : 05.12.2018.
3. Учебная программа по учебному предмету «Химия» для VII класса учреждений общего среднего образования с русским языком обучения и воспитания, утверждённая Постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 27.07.2017 № 91.
4. Учебная программа по учебному предмету «Химия» для VIII—IX классов учреждений общего среднего образования с русским языком обучения и воспитания, утверждённая Постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 27.07.2017 № 92.
5. Учебная программа по учебному предмету «Химия» для X—XI классов учреждений общего среднего образования с русским языком обучения и воспитания (базовый уровень), утверждённая Постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 27.07.2017 № 93.
6. Учебная программа по учебному предмету «Химия» для X—XI классов учреждений общего среднего образования с русским языком обучения и воспитания (повышенный уровень), утверждённая Постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 27.07.2017 № 93.
7. Определение электропроводности водных растворов электролитов: метод. указ. к лаб. работе. / Сост. : Ю. П. Коврига, В. М. Стифатов. — Самара : Самар. гос. техн. ун-т, 2017. — 16 с.

Принцип работы датчика электропроводности растворов

Датчик электропроводности растворов (рис. 14) предназначен для измерения удельной электрической проводимости различных водных растворов в диапазоне от 0 до 5 мСм/см. Погрешность произведённых с его помощью измерений не нормируется, оцифрованные данные в режиме реального времени выводятся на дисплей ПК.

В сжатой форме принцип работы датчика основан на измерении сопротивления раствора, заключённого между двумя параллельными электродами, к которым приложено переменное напряжение.



Рисунок 14 — Датчик электропроводности растворов с зондом (1) — две параллельные металлические пластинки (электроды)

Методика приготовления растворов для измерения их электропроводности

Оборудование и посуда: аналитические весы, мерная колба на 100 мл, мерные пипетки, конические колбы с пробками для хранения приготовленных растворов, коническая воронка, шпатель.

Реактивы: дистиллированная вода, растворы кислот (HCl, H₂SO₄, H₃PO₄, CH₃COOH) из-

вестной концентрации⁶ NaCl, Na₂SO₄, Na₃PO₄ (ЧДА или ХЧ).

Расчёты по приготовлению растворов приведены в таблице 9.

Готовить растворы, а также проводить измерения электропроводности растворов необходимо, соблюдая правила техники безопасности.

Таблица 9 — Составы используемых растворов и способы их приготовления

№ п/п	Название вещества	Концентрация (моль/дм ³)	Этапы приготовления раствора
1	HCl	1	1) Отмерить пипеткой 8,60 мл 36% -ного раствора HCl ($\rho = 1,179 \text{ г/см}^3$); 2) перенести отмеренное количество в мерную колбу на 100 мл с небольшим количеством дистиллированной воды, довести водой объём раствора до метки и перемешать
2		0,1	1) Из колбы с раствором HCl с концентрацией 1 моль/дм ³ отобрать пипеткой 10 мл и перенести в мерную колбу на 100 мл; 2) довести водой объём раствора до метки и перемешать
3		0,01	1) Из колбы с раствором HCl с концентрацией 0,1 моль/дм ³ отобрать пипеткой 10 мл и перенести в мерную колбу на 100 мл; 2) довести водой объём раствора до метки и перемешать
4		0,001	1) Из колбы с раствором HCl с концентрацией 0,01 моль/дм ³ отобрать пипеткой 10 мл и перенести в мерную колбу на 100 мл; 2) довести водой объём раствора до метки и перемешать

⁶ Для приготовления растворов кислот и щелочей следует использовать стандарт-титры. Это обеспечит необходимую точность измерений. При отсутствии стандарт-титров перед проведением измерений необходимо методом титрования удостовериться в их концентрации.

Методыка навчання

Окончание таблицы

№ п/п	Название вещества	Концентрация (моль/дм ³)	Этапы приготовления раствора
5	H ₂ SO ₄	1	1) Отмерить пипеткой 5,45 мл 98% -ного раствора HCl (ρ = 1,837 г/см ³); 2) перенести отмеренное количество в мерную колбу на 100 мл с небольшим количеством дистиллированной воды, довести водой объём раствора до метки и перемешать
6	H ₃ PO ₄	1	1) Отмерить пипеткой 6,83 мл 85% -ного раствора HCl (ρ = 1,689 г/см ³); 2) перенести отмеренное количество в мерную колбу на 100 мл с небольшим количеством дистиллированной воды, довести водой объём раствора до метки и перемешать
7	CH ₃ COOH	1	1) Отмерить пипеткой 5,72 мл 100% -ного раствора HCl (ρ = 1,050 г/см ³); 2) перенести отмеренное количество в мерную колбу на 100 мл с небольшим количеством дистиллированной воды, довести водой объём раствора до метки и перемешать
8	NaCl	1	1) На весах (точность взвешивания не ниже 0,01 г) взвесить вещество массой 5,85 г; 2) через коническую воронку перенести навеску вещества в мерную колбу на 100 мл, наполненную наполовину дистиллированной водой; 3) растворить вещество (соль), довести водой объём раствора до метки и перемешать
9	Na ₂ SO ₄	1	1) На весах (точность взвешивания не ниже 0,01 г) взвесить вещество массой 14,20 г; 2) через коническую воронку перенести навеску вещества в мерную колбу на 100 мл, наполненную наполовину дистиллированной водой; 3) растворить вещество (соль), довести водой объём раствора до метки и перемешать
10	Na ₃ PO ₄	1	1) На весах (точность взвешивания не ниже 0,01 г) взвесить вещество массой 16,40 г; 2) через коническую воронку перенести навеску вещества в мерную колбу на 100 мл, наполненную наполовину дистиллированной водой; 3) растворить вещество (соль), довести водой объём раствора до метки и перемешать

К сведению авторов!

Предоставляя материалы для публикации в журнале, авторы тем самым передают издателю неисключительные имущественные права на воспроизведение, распространение, сообщение для всеобщего сведения и иные возможные способы использования произведения (в том числе в электронной версии журнала) без ограничения территории распространения.