

Z.LABS

# МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ



Лабораторные работы  
ПО ХИМИИ

 ZARNITZA

# **Методические рекомендации**



**Лабораторные работы  
по химии**

**2022**

## СОДЕРЖАНИЕ

### ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ДЛЯ 8 КЛАССА

1	Лабораторная работа № 1. ЧИСТЫЕ ВЕЩЕСТВА И СМЕСИ .....	8
2	Лабораторная работа № 2. ОЧИСТКА ВОДЫ ОТ РАСТВОРИМЫХ ПРИМЕСЕЙ .....	11
3	Лабораторная работа № 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ВЕЩЕСТВА ..	14
4	Лабораторная работа № 4. ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ. ЭКЗОТЕРМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ.....	18
5	Лабораторная работа № 5. ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ. ЭНДОТЕРМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ.....	20
6	Лабораторная работа № 6. ПРИГОТОВЛЕНИЕ РАСТВОРОВ С ОПРЕДЕЛЕННОЙ МАССОВОЙ ДОЛЕЙ РАСТВОРЕННОГО ВЕЩЕСТВА. ПЕРЕНАСЫЩЕННЫЕ РАСТВОРЫ .....	23
7	Лабораторная работа № 7. ОБЩИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ. АМФОТЕРНОСТЬ $Al^{3+}$ , $Cr^{+3}$ .....	26

### ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ДЛЯ 9 КЛАССА

8	Лабораторная работа № 8. РЕАКЦИИ ИОННОГО ОБМЕНА .....	28
9	Лабораторная работа № 9. РЕАКЦИИ ИОННОГО ОБМЕНА. ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКАЯ ДИССОЦИАЦИЯ .....	32
10	Лабораторная работа № 10. РЕАКЦИИ ИОННОГО ОБМЕНА. ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ СИЛЬНЫХ И СЛАБЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ.....	34
11	Лабораторная работа № 11. УСЛОВИЯ ПРОТЕКАНИЯ РЕАКЦИЙ ИОННОГО ОБМЕНА. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ДИССОЦИАЦИЮ .....	36
12	Лабораторная работа № 12. УСЛОВИЯ ПРОТЕКАНИЯ РЕАКЦИЙ ИОННОГО ОБМЕНА. ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРА НА ДИССОЦИАЦИЮ .....	39
13	Лабораторная работа № 13. ВЛИЯНИЕ РАСТВОРИТЕЛЯ НА ДИССОЦИАЦИЮ .....	42
14	Лабораторная работа № 14. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ pH РАЗНЫХ РАСТВОРОВ .....	45
15	Лабораторная работа № 15. ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИИ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ НА ПРИМЕРЕ ВЗАИМО- ДЕЙСТВИЯ ГИДРОКСИДА НАТРИЯ С СОЛЯНОЙ КИСЛОТОЙ.....	48
16	Лабораторная работа № 16. ИЗУЧЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГАЛОГЕНОВ .....	51
17	Лабораторная работа № 17. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЛОТРОПНЫХ МОДИФИКАЦИЙ СЕРЫ .....	54
18	Лабораторная работа № 18. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛООВОГО ЭФФЕКТА ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ С ПОМОЩЬЮ КАЛОРИМЕТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ .....	58
19	Лабораторная работа № 19. СВОЙСТВА БЕЛКОВ.....	61

### ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ДЛЯ 10 КЛАССА

20	Лабораторная работа № 20. СВОЙСТВА ИЗОМЕРОВ .....	63
21	Лабораторная работа № 21. РАДИКАЛЬНОЕ БРОМИРОВАНИЕ АЛКАНОВ .....	65
22	Лабораторная работа № 22. ИЗУЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ КИПЕНИЯ ОДНОАТОМНЫХ СПИРТОВ .....	69
23	Лабораторная работа № 23. ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ОДНОАТОМНЫХ СПИРТОВ .....	71
24	Лабораторная работа № 24. ПОЛУЧЕНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ КАРБОНОВЫХ КИСЛОТ.....	74

## СОДЕРЖАНИЕ

25	Лабораторная работа № 25. ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПИРТОВ, ФЕНОЛОВ, АЛЬДЕГИДОВ.....	77
26	Лабораторная работа № 26. ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УГЛЕВОДОВ .....	81
27	Лабораторная работа № 27. ИЗУЧЕНИЕ СТЕПЕНИ ДИССОЦИАЦИИ ОДНООСНОВНЫХ КАРБОНОВЫХ КИСЛОТ .....	83
28	Лабораторная работа № 28. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТАНТ ДИССОЦИАЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ .....	86
29	Лабораторная работа № 29. ВЛИЯНИЕ ЖЕСТКОСТИ ВОДЫ НА ПРОЦЕСС ОМЫЛЕНИЯ .....	90
30	Лабораторная работа № 30. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ pH РАСТВОРОВ АМИНОКИСЛОТ....	93
31	Лабораторная работа № 31. СВОЙСТВА СЛОЖНЫХ ЭФИРОВ (ПРОЦЕСС ГИДРОЛИЗА) .....	95

### ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ДЛЯ 11 КЛАССА

32	Лабораторная работа № 32. ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ РЕАКЦИИ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ .....	98
33	Лабораторная работа № 33. ИЗУЧЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ТЕПЛООВОГО ЭФФЕКТА С ПОМОЩЬЮ КАЛОРИМЕТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ .....	103
34	Лабораторная работа № 34. ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ НА ПРИМЕРЕ СУЛЬФАТА БАРИЯ .....	107
35	Лабораторная работа № 35. ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ РЕАГИРУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ НА СМЕЩЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ .....	111
36	Лабораторная работа № 36. ВЛИЯНИЕ ОДНОИМЕННЫХ ИОНОВ НА СМЕЩЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ .....	115
37	Лабораторная работа № 37. СКОРОСТЬ РЕАКЦИИ, ЕЕ ЗАВИСИМОСТЬ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ .....	117
38	Лабораторная работа № 38. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ РЕАГЕНТОВ .....	122
39	Лабораторная работа № 39. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ЭФФЕКТОВ РАСТВОРЕНИЯ ВЕЩЕСТВ В ВОДЕ .....	127
40	Лабораторная работа № 40. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ ГИДРАТАЦИИ С ПОМОЩЬЮ КАЛОРИМЕТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ .....	131
41	Лабораторная работа № 41. ОПРЕДЕЛЕНИЕ pH РАСТВОРОВ СОЛЕЙ.....	136
42	Лабораторная работа № 42. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА СТЕПЕНЬ ГИДРОЛИЗА СОЛЕЙ .....	140

### ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ

43	Лабораторная работа № 43. ОЦЕНКА ОБЩЕЙ ЖЕСТКОСТИ ВОДЫ .....	143
44	Лабораторная работа № 44. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ЖЕЛЕЗА В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ.....	146
45	Лабораторная работа № 45. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ ПОКАЗАТЕЛЯ pH СРЕДСТВ ЛИЧНОЙ ГИГИЕНЫ.....	149
46	Лабораторная работа № 46. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ pH СРЕДСТВ ЛИЧНОЙ ГИГИЕНЫ РАЗЛИЧНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ.....	152



## ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ В ХИМИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ

### ■ ОБЩИЕ ПРАВИЛА

1. Приступать к опытам в лабораторных условиях допускается исключительно в специальной одежде, которая гарантированно защитит кожные покровы от контакта с реагентами.
2. Всем ученикам без исключения необходимо придерживаться правила, что лабораторные опыты можно проводить только на закрепленном за каждым рабочем месте. Движение по классу, переход на другое рабочее место не разрешается.
3. Необходимо тщательно следить за порядком на своем рабочем месте, убрать с рабочей поверхности посторонние предметы.
4. Категорически запрещено проводить практические занятия, опыты в отсутствие учителя и в нерабочее время.
5. Приступать к выполнению опытов разрешается только после подробного инструктажа, который перед каждым занятием проводит учитель.
6. Перед началом проведения лабораторной работы убедитесь в исправности и полном наличии инструментов, оборудования, реактивов. Также уточните все возникшие после изучения методических рекомендаций вопросы у преподавателя.
7. При выполнении практических занятий, опытов, лабораторных экспериментов очень

важно придерживаться всех рекомендаций, подробно описанных в методических пособиях. Нельзя изменять самостоятельно последовательность действий и пропорции компонентов.

8. Проведение опытов допустимо только при наличии чистых колб и другого практического инвентаря, мерной тары. Стоит немедленно отказать от применения склянок, на которых неразборчиво написан состав или полностью отсутствует этикетка с инструкцией.

9. Для нагревания жидкостей, смесей, составов используйте только разрешенный для этих целей инвентарь. Как правило, эта информация содержится в методических пособиях.

10. Во время проведения лабораторной работы все действия следует выполнять предельно аккуратно, строго придерживаясь методических рекомендаций, соблюдая время работы с реактивами.

11. Завершив проведение опытов, каждый ученик должен навести порядок на собственном учебном месте. С вертикальных поверхностей удалить рабочие жидкости, очистить посуду от загрязнений, отключить питание электрических приборов и проверить, плотно ли перекрыты краны с проточной водой.

### ■ ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ С КИСЛОТАМИ И ЩЕЛОЧАМИ

1. Следует с предельной аккуратностью проводить практические опыты, которые связаны с кислотной и щелочной средой. Данные реактивы не должны попадать на кожу рук, лица, слизистые оболочки рта и глаз, одежду учеников. В случае, если щелочь или кислота попали на кожу, слизистые рта или глаз, их следует очень тщательно промыть проточной водой комнатной температуры. Если реагенты попали на кожу или одежду, после промывания можно протереть 3-5 % раствором соды с добавлением аммиака. После контакта кожи с щелочью необходимо обработать кожу слабым раствором борной или уксусной кислоты. Также для этих целей подходит разведенная лимонная кислота.
2. При выполнении лабораторной работы, которая связана с проведением опытов над щелочью или кислотой, ученикам запрещено передвигаться самостоятельно или с этими составами в руках по классу. Проводить опыты разрешено только в специально оборудованном для этого месте.

3. Переливать, разносить по колбам токсичные кислоты допускается исключительно при включенной принудительной вентиляции, в вытяжном шкафу. Такое правило распространяется на серную и соляную, а также азотную кислоту.

4. Осуществлять забор кислот и щелочей разрешено только с использованием специальной резиновой груши или пипетки, альтернативные методы забора запрещены.

5. Категорически НЕЛЬЗЯ наливать воду в серную кислоту! Чтобы приготовить нужный раствор, в колбу с подготовленной водой подают тонкой струйкой серную кислоту, постоянно помешивая компоненты.

6. Запрещено брать твердые щелочные составы руками, для растворения твердых материалов допускается использовать только специально предназначенный для этого инвентарь. Чтобы растворить твердый состав, его небольшими порциями добавляют к чистой воде, без примесей, постоянно помешивая состав.

7. Работа с химическими реагентами, которые при контакте друг с другом выделяют тепло, должна осуществляться только в защитных перчатках, с применением термостойкой посуды из стекла или фарфора.

8. Если во время проведения опытов растворы, содержащие кислоту или щелочь, попали на рабочую поверхность, их как можно скорее нужно присыпать песком. Это позволит нейтрализовать

компонент. После чего можно приступать к уборке рабочей поверхности от загрязнений.

9. Любые расходные материалы, которые использовались для проведения лабораторных опытов, необходимо утилизировать. Для бумаги, фильтров, нетоксичных веществ подойдет ведро, использованные или концентрированные составы, содержащие кислоту или щелочь, аккуратно переливают в специально оборудованную посуду.

### ■ ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ С ЛЕГКОВОСПЛАМЕНЯЮЩИМИСЯ ЖИДКОСТЯМИ (ЛВЖ)

1. Все подготовительные мероприятия, опыты с легковоспламеняющимися составами, веществами разрешено проводить только в специально оборудованном для этих целей вытяжном шкафу, предварительно включив принудительную вентиляцию. Альтернативные варианты работы с ЛВЖ категорически запрещены.

2. Категорически ЗАПРЕЩЕНО подвергать термической обработке составы, которые при нагревании и контакте друг с другом выделяют газ, пар или взрываются.

3. При неосторожном обращении с легковоспламеняющимися жидкостями, в случае их разлива, как можно скорее необходимо отключить

все источники электрического питания и открытого огня, чтобы предотвратить опасные ситуации и воспламенение.

4. Завершив проведение опытов с легковоспламеняющимися жидкостями, емкости, в которых они содержались, необходимо тщательно промыть, предварительно утилизировав обозначенные составы.

5. Если при работе с легковоспламеняющимися жидкостями произошло возгорание, запрещается тушить водой или подручными средствами. Для этих целей необходимо использовать исключительно песок.

### ■ ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ С БЫТОВЫМ ГАЗОМ, СПИРТОВОЙ И СУХИМ ГОРЮЧИМ

1. При выполнении опыта с нагревом жидкостей предварительно необходимо убедиться в исправности оборудования. Спиртовку следует расположить на ровной поверхности, фитиль должен иметь установленную инструкцией высоту, основание и горловина должны быть сухими.

2. Запрещено передвигаться по классу с зажженной спиртовкой, двигать ее по столу, поджигать с ее помощью другие нагревательные инструменты и приборы.

3. Завершив проведение опытов, пламя спиртовки потушить с помощью специального колпачка. Тушить огонь пальцами или задувать категорически запрещено.

4. Для проведения опытов со спиртовками категорически запрещено использовать другие воспламеняющиеся смеси, кроме разрешенных инструкцией. Для этих целей подходит исключительно чистый этиловый спирт.

5. Осуществлять розжиг сухого горючего разрешено в специально подготовленной таре. Как правило, речь идет о керамических тиглях. Сгоревшее сырье, тлеющее необходимо полностью потушить, а посуду с содержимым поместить в вытяжной шкаф.

6. Перед проведением опытов с нагреванием

рабочей жидкости убедитесь, что на внешних стенках сосуда не остались реактивы. Нагрев компонентов осуществляется только с применением пробирок, которые направляются в сторону, противоположную от лица учеников. Категорически запрещено подносить пробирки с реактивами близко к лицу, наклонять их, двигать во время проведения опытов. Обеспечить правильное положение пробирки можно только используя специально предназначенный для этого держатель.

7. Если во время проведения опытов произошло незапланированное возгорание реактивов, в первую очередь необходимо выключить все электрические приборы из сети, после чего приступить к тушению возгорания. Лучшее средство для этого подходит песок, натуральная чистая плотная ткань. Запрещено использовать другие подручные средства, реагенты, руки или тушить пламя направленными потоками воздуха.

8. Если во время проведения лабораторной работы ученик получил ожог, учителю необходимо оценить степень повреждения, промыть травму холодной водой, закрыть место повреждения чистой тканью или обратиться за медицинской помощью к профильному специалисту.



### ■ ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ С ХИМИЧЕСКОЙ ПОСУДОЙ

1. При работе с реактивами необходимо очень аккуратно смешивать их между собой, используя шпатель или лабораторную палочку. Чтобы сосуд с реактивами не разбился, его устанавливают в штатив или аккуратно держат руками за широкое основание.

2. Осуществляя опыты с нагретыми реактивами, работать необходимо обеими руками, стараясь избежать попадания нагретых веществ на открытую кожу или одежду.

3. Прогретые до высоких температур сосуды запрещено закрывать пробкой до момента полно-

го остывания сосуда. Герметизируя сосуд, его необходимо держать за широкое основание.

4. Для проведения лабораторных работ, в которых предполагается нагрев жидкостей, разрешено использовать исключительно специальную термостойкую тару.

5. Если при проведении опытов ученик разбил колбу, поранился стеклом, учителю необходимо оценить степень повреждений, удалить осколки стекла из раны, а поврежденное место продезинфицировать разрешенными веществами, после чего наложить нетугую повязку.

### ■ ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ С ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕМ И ЭЛЕКТРОПРИБОРАМИ

1. Запрещено проводить опыты с неисправными электрическими приборами. Если прибор перестал работать во время проведения опыта, незамедлительно сообщить об этом учителю.

2. Осуществляя опыты с водяной баней, оценивать степень нагрева рабочей жидкости нужно исключительно специальными приборами. Запрещено окунать в нагретую воду руки или пальцы.

3. Если ученик подвергся воздействию электрического тока, запрещено помогать ребенку

до момента отключения прибора из сети или прикасаться к таким приборам. В первую очередь необходимо обесточить прибор или помещение, перерубить запитанный от сети провод или кабель, используя специальный изолированный инвентарь. Далее приступить к оказанию первой помощи пострадавшему. В случае, если от поражения током ученик потерял сознание, необходимо немедленно обратиться за медицинской помощью.

### ■ ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ С РЕАКТИВАМИ

1. Любые излишки реактивов запрещено помещать обратно в сосуд, из которого он был взят.

2. Емкости, в которых хранятся реактивы, необходимо ставить на место в шкафу, плотно закрывая их специальными крышками.

3. Запрещается брать сухие реактивы руками, для этого разрешено использовать только специальный сухой инвентарь.

4. При работе с жидкими реактивами их сбор следует осуществлять исключительно чистыми и сухими пипетками.

5. Разливая реактивы по рабочим колбам, запрещено наклоняться над ними ниже установленного расстояния, вдыхать пары. Также следует

следить, чтобы реактивы не попадали на лицо, руки или одежду учеников.

6. Работы с реактивами проводятся только на сухих подготовленных горизонтальных поверхностях. С токсичными веществами работают исключительно в вытяжном шкафу при включенной принудительной вентиляции.

7. Чтобы оценить выделяющийся при реакции запах в пробирке, ее не следует подносить близко к лицу и носу. На достаточном от лица расстоянии запах оценивают, подгоняя рукой потоки выделяемого вещества.

## ПОДГОТОВКА ДАТЧИКОВ К РАБОТЕ

### ■ ПОДГОТОВКА ДАТЧИКА pH, ДАТЧИКА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ, ДАТЧИКА ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА

Предварительно снимите колпачок с электрода, используя лабораторную промывалку и дистиллированную воду, сполосните его нижнюю часть, после чего тщательно просушите фильтровальной бумагой.

Внутрь электрода окислительно-восстанови-

тельного потенциала залейте 3 М раствор  $KCl$ . Его же необходимо использовать для хранения электрода  $pH$  в защитном колпачке. Если во время эксперимента раствор случилось разлить, следует приготовить его повторно и залить новую порцию.

### ■ ПОДГОТОВКА ДАТЧИКОВ ОПТИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ

Кювета должна быть обстоятельно вымыта, очищена дистиллированной водой, после чего тщательно просушена.

Предварительно следует выполнить калибровку датчика.

Подключите датчик к ПК и выполните запуск программы измерений «Цифровая лаборатория». После чего определите нужный пункт датчика.

Во всплывшем окошке необходимо нажать кнопку «Калибровка», в случае необходимости указать пароль.

В кювету налейте 1-2 мл эталонного раствора 100 NTU, выждите время, пока показания станут стабильными, и последовательно нажимайте на клавиши: «Применить», «Далее» и «Сохранить».



## ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ДЛЯ 8 КЛАССА

### Лабораторная работа № 1

#### ЧИСТЫЕ ВЕЩЕСТВА И СМЕСИ

*Оборудование:* беспроводной датчик для химического мониторинга; кондуктометр – датчик измерения электропроводности; химический стакан объемом 50 мл, 3 шт.; шпатель химический или лопаточка; натрия хлорид кристаллический.

*Цель:* формирование представления о чистых веществах и смеси двух либо более веществ.

#### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Абсолютно чистое химическое вещество почти не встречается в естественных условиях. Вещество, состоящее из частиц одного вида, наделено комплексом характеристик, определяющим его физические свойства. К примеру, только у дистиллированной воды, у которой нет вкуса, температура замерзания  $t_z$  равна 0 °С, а температура кипения  $t_{кип}$  равна 100 °С.

У морской воды, имеющей горько-солёный вкус, температура замерзания более низкая, а температура кипения превышает 100 °С. Это обусловлено тем, что морская вода включает в себя вещества, которых нет в дистиллированной. Фактически это смесь разнообразных химических веществ, состав и концентрация которых могут меняться, что влияет на свойства морской воды. Для того чтобы Черное море покрылось льдом, температура воды должна быть ниже, чем в Балтийском море.

Система, состоящая из частиц двух или более веществ, произвольно распределённых между собой, называется смесью, которая может быть однородной или неоднородной.

Однородная смесь, именуемая чаще всего раствором, представляет из себя сочетание частиц, которые невозможно различить даже в микроскоп. Примеры однородной смеси – раствор спирта или сахара.

В неоднородной смеси частицы разных веществ могут быть различимы не только в микроскоп, но и без дополнительного оборудования. Примерами неоднородной смеси являются смешанный с водой измельченный мел или же добавленный в воду песок. Смесью может быть как твердой, так и жидкой, либо газообразной. Примеры твердых смесей – сплавы металлов (сталь, чугун) или стекло, образующееся в процессе резкого остывания при определенной температуре расплавленных неорганических и органических веществ.

Пример жидкой смеси – клеточный (вакуолярный) сок или кровь, минеральная вода или молоко.

Примерами газообразных смесей являются атмосферный воздух или же сжиженный углеводородный газ (смесь пропана с бутаном).

Необходимость изучения физических свойств смесей обусловлена тем, что добавление даже небольшого количества вещества может кардинально изменить характеристики полученного материала. К примеру, в производстве полупроводниковых чипов применяется сверхчистое вещество, с примесью к основному элементу не больше 1 атома на 1 млн

#### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

неделимых частиц (*Si, Ge*). Если необходимая концентрация превышает, это кардинально ухудшает полупроводниковые характеристики материала.

1. Датчик электропроводности подключить к предварительно подготовленному мультидатчику. Для этого необходимо ополоснуть, используя промывалку и дистиллированную воду, нижнюю часть датчика. Далее аккуратно, не касаясь руками, с помощью фильтровальной бумаги осушить его.
2. Цифровой мультидатчик подключить к ноутбуку в соответствии с рекомендациями для пользователей программного обеспечения «Цифровая лаборатория».
3. Запустить программу измерений.
4. Дистиллированную воду в объеме 50 мл налить в химический стакан.
5. Поместить в воду датчик, запустить его, нажав на «Пуск». Дождаться, пока датчик установит показатели дистиллированной воды, затем поставить датчик на «Паузу».
6. Провести эти же измерения, налив в химический стакан 50 мл воды из-под крана.
7. Добавить в исследуемый образец воды из-под крана щепотку соли (на кончике химического шпателя), провести замер показателей как в пункте № 5.
8. Результаты измерений внести в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты измерений

Исследуемый объект	Электропроводность, мкСм
Дистиллированная вода	
Водопроводная вода	
Раствор поваренной соли	

9. Датчик электропроводности вынуть из стакана, тщательно промыть дистиллированной водой. Промокнуть ополоснутый датчик фильтровальной бумагой.

10. Ответить на контрольные вопросы.

#### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В каком виде в природе существуют вещества?
2. Дать определение термину «смесь».
3. Перечислить несколько примеров смесей, которые существуют в естественных условиях.
4. Привести примеры однородной смеси (раствора) и неоднородной смеси.
5. Назовите примеры жидкой, твердой и газообразной смеси.

#### ■ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

В начале проведения лабораторного эксперимента возникает вопрос о единице электропроводности (мкСм).

Сименс (единица системы СИ) – это электрическая проводимость участка электрической цепи при сопротивлении в 1 Ом.

В данном случае нет необходимости промывать и сушить датчик электропроводности перед каждым опытом. Обусловлено это тем, что уровень концентрации соли в воде постепенно возрастает. Датчик можно зафиксировать в лапке штатива, а также придерживать руками. Но нельзя касаться дна и стенок стеклянной емкости.



Принято считать, что дистиллированная вода является чистым веществом с определенной условностью. Связано это с тем, что ее свойства (например, электропроводность равна 0) схожи со свойствами чистой воды.

Водопроводную воду сложно отнести к чистым веществам. Связано это с тем, что в ней растворено небольшое количество газов и солей. Наличие солей подтверждается значением электропроводности, отличающимся от 0, равным 200 мкСм. Рост электропроводности связан с тем, что в воде увеличивается концентрация носителей электрического заряда – то есть ионов, из которых состоит соль.

#### ■ ВОПРОС

Объясните причины, по которым соль увеличивает электропроводность воды и поясните, можно ли водопроводную воду называть чистым веществом. Может ли она быть исключительно чистой?

## Лабораторная работа № 2

### ОЧИСТКА ВОДЫ ОТ РАСТВОРИМЫХ ПРИМЕСЕЙ

*Оборудование:* мультидатчик для химического мониторинга беспроводной; датчик электропроводности; раствор натрия хлорида  $NaCl$  концентрации 0,1 М; химические стаканы на 25–50 мл; палочка для перемешивания стеклянная; воронка; бумажные фильтры (бумага фильтровальная); промывалка; дистиллированная вода; устройство для перегонки; лабораторный штатив, укомплектованный лапкой и кольцом.

*Цель:* исследование электропроводности смеси, очищенной разными способами.

#### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Жидкость очищается от нерастворимых примесей с помощью фильтров, изготовленных из специального материала, проницаемого для жидкости, задерживающего твердые вещества. Для этого фильтр размещается в воронке, в которую затем постепенно вливают жидкость так, чтобы струя попадала в центр воронки, для чего используется стеклянная палочка. Перед началом фильтрования под воронкой ставится химический стакан для сбора отфильтрованной жидкости (см. рисунок 1).

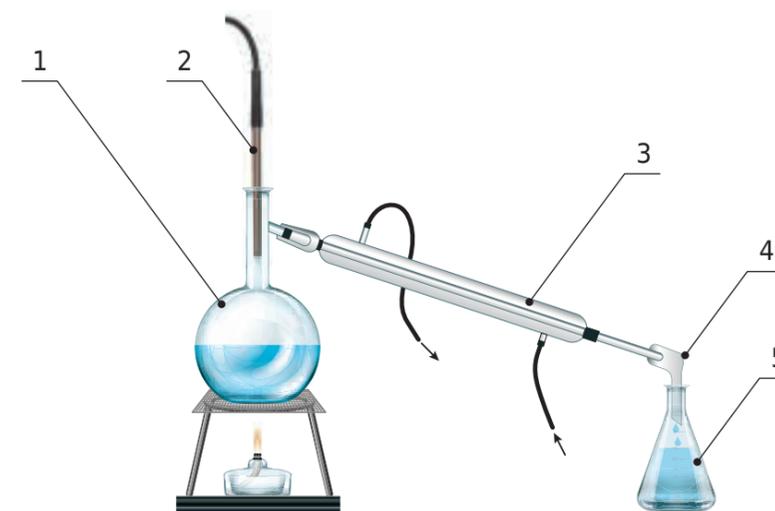


Рисунок 1.

Прибор для перегонки: 1 – перегонная колба, 2 – термометр, 3 – холодильник (стрелками обозначено направление тока воды), 4 – аллонж, 5 – приемник

В бытовых условиях в качестве грубого фильтра можно использовать салфетку или туалетную бумагу, марлю или ткань. В химической лаборатории твердые частицы отделяются от жидкости с использованием специальных фильтров.



В однородной смеси (раствор) частицы раздроблены до молекулярного и атомного состояния, что и отличает ее от неоднородной, где нерастворимые частицы видны без дополнительного оборудования. Поэтому для растворов не подходят обычные фильтры.

Эффективным способом очистки жидкости от растворимых примесей признают перегонку (дистилляцию) – разделение за счет разности температуры кипения жидкости и растворенных в ней примесей. Если нагревается раствор соли, вначале испаряется вода, как вещество с более низкой температурой кипения.

Для этого необходимо поместить очищаемый от примесей раствор в емкость, где будет производиться нагревание (перегонная колба). В ходе нагревания (см. рисунок 1) начинается испарение жидкости. При достижении температуры кипения происходит наиболее интенсивное испарение. Процесс контролируется с помощью термометра, вставляемого в перегонную колбу. Пары испаряемой жидкости поступают в систему трубок, именуемую холодильником. В лабораторных условиях применяется водное охлаждение холодильника – в наружном кожухе противотоком идет холодная вода. Здесь конденсируются пары испаряемой жидкости, которые поступают в приемник через аллонж в очищенном виде.

Уровень очистки воды после дистилляции определяется по степени ее электропроводности, поскольку дистиллированная вода является диэлектриком.

#### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Датчик электропроводности промывается дистиллированной водой в промывалке и осушается с помощью фильтровальной бумаги.
2. Цифровой мультидатчик для лабораторных работ по предмету «Химия» подключается к ноутбуку с установленной программой «Цифровая лаборатория».
3. В «Цифровой лаборатории» запускается программа измерений.
4. Датчик электропроводности закрепляется лапкой на штативе.
5. Датчик опускается в химический стакан с предварительно налитой исследуемой жидкостью (раствор натрия хлорида концентрацией 0,1 М), нажимается «Пуск» и измеряется электропроводность. Затем прибор ставится на «Паузу».
6. В закрепленное на штативе кольцо помещается воронка с фильтром. Раствор фильтруется, жидкость сливается в химический стакан.
7. Проводится замер электропроводности жидкости после фильтрации.
8. Монтируется оборудование для перегонки жидкости. В перегонную колбу, установленную для нагрева на спиртовке или песчаной бане, наливается предварительно отфильтрованный раствор, включается подача воды в холодильник. Когда в приемной колбе накопится 25 мл воды, перегонка останавливается.
9. Повторяются измерения для жидкости из приемной колбы.
10. Полученные результаты вносятся в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты измерения электропроводности

Исследуемый раствор	Электропроводность, мкСм
Исходный раствор соли	
После фильтрации	
После перегонки	

#### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

11. Датчик извлекается из стакана, промывается дистиллятом, используя фильтровальную бумагу, осушается.
12. Ответить на контрольные вопросы.

1. Дать определение фильтрованию, области его применения.
2. Дать определение термину «фильтр», какие материалы используются для его изготовления?
3. Описать процесс фильтрования.
4. Дать определение процессу перегонки/дистилляции. Для каких целей используется дистилляция? Основной принцип перегонки.
5. Описать устройство для перегонки, перечислить основные узлы и их работу.
6. Процесс проведения перегонки.

#### ■ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

Приступая к проведению лабораторной работы, закономерно ставится вопрос о единице электропроводности (мкСм).

Сименс (единица системы СИ) величина, в которой измеряется проводимость участка электрической цепи. Проводимость, величина обратная сопротивлению, измеряющегося в Омах.

Оборудование, а в данном случае идет речь о кольце для крепления воронки и датчике электропроводности, необходимо поместить на один штатив. Вместе с тем данное оборудование должно быть расположено по разные стороны. В противном случае допускается взять для работы два штатива.

Датчик можно зафиксировать в лапке штатива или фиксировать руками. Но нельзя касаться дна и стенок стеклянной емкости, одновременно помешивать им раствор.

Для минимизации временных потерь разрешается заранее подготовить 2 стакана с соляным раствором. Пока первая порция проходит этап очистки и анализируется датчиком, вторую допускается подвергнуть перегонке. Отдельно отметим, что на самих процессах фильтрования и перегонки не будет акцентировано внимание.

Дополнительно здесь помимо соляного раствора можно использовать водопроводную воду. Но при таких исходных, электропроводность будет незначительной (электропроводность раствора соли больше электропроводности водопроводной воды).

Рост показателей электропроводности говорит о том, что в воде имеется большой объем примеси.

Низкое или нулевое значение электропроводности соли свидетельствует о том, что вода чистая. Это возможно после перегонки раствора соли.

Электропроводность после фильтрования раствора соли остается прежней, поскольку с ее помощью невозможно очистить воду от растворимых примесей.

Если электропроводность после перегонки раствора соли существенно сокращается (до 0), это связано с тем, что примесь соли остается в перегонной колбе, а в приемник поступает чистая вода.

Используя метод перегонки, можно очистить воду от посторонних примесей.

#### ■ ВОПРОСЫ

1. Раскройте основные способы очистки воды от водорастворимых включений в ней.
2. Объясните, как меняется электропроводность воды после очистки солевого раствора. Объясните причины высокой/низкой или нулевой электропроводности раствора соли.



## Лабораторная работа № 3

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ВЕЩЕСТВА

**Оборудование:** мультидатчик для химического мониторинга беспроводной; температурный датчик; лабораторный штатив с дополнительным держателем; электрическая плитка, водяная баня или спиртовка; стакан, вмещающий 150 мл жидкости; фарфоровая чаша или пробирка; небольшие куски парафина.

**Цель:** экспериментальное определение температуры кристаллизации, при которой происходит кристаллизация парафина, формирование у учеников представления об обратимости плавления и затвердения (кристаллизация).

### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Одним из свойств твердых веществ, имеющих кристаллическую структуру строения, является определенный показатель температуры плавления и равный ей температурный показатель кристаллизации. При нагреве кристаллического вещества до определенного уровня, соответствующего температуре плавления, на определенное время перестает расти температурный показатель. Часть тепла в этот момент идет на уничтожение пространственного расположения атомов кристаллического вещества. Только после того, как все нагреваемое вещество переходит из твердого (кристаллического) состояния в жидкое, температура вновь начинает подниматься.

Подобное замедление динамики изменения температуры отмечается и в процессе остывания жидкости, при переходе в кристаллическое вещество. В ходе охлаждения расплавленного вещества происходит замедление хаотического движения.

По мере охлаждения частицы кристаллического вещества начинают формировать кристаллическую решетку, под действием сил притяжения притягиваясь друг к другу. Пока идет процесс кристаллизации – температурные показатели не меняются. Это обусловлено выделением тепла при формировании кристаллической решетки. После полного затвердения вещества температура вновь понижается.

Таким образом, температурный интервал, в котором происходит процесс плавления либо кристаллизации, называется температурой плавления либо температурой кристаллизации.

### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Кусочки парафина помещают в подготовленную пробирку либо фарфоровую чашку. Если эксперимент проводится с пробиркой – она нагревается на водяной бане при температуре 80 °С. Если с фарфоровой чашкой – она ставится на плитку или нагревается спиртовкой.

2. К ноутбуку подключается цифровой мультидатчик лабораторный «Химия» на основании инструкции для пользователей с программным обеспечением «Цифровая лаборатория».

3. Запускается соответствующая программа измерений «Цифровой лаборатории».

### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

4. После полного растворения парафина пробирка ставится в стакан со 150 мл холодной воды. Если эксперимент проводится с фарфоровой чашкой, она снимается, а в расплавленный парафин опускается температурный датчик так, чтобы шуп не касался ни стенок, ни дна посуды.

5. Контролируется процесс изменения температуры при затверждении парафина.

6. Когда температура снизится до 35 °С, измерения прекращаются, датчик ставится на «Паузу».

7. На основании полученных данных выстраивается график, позволяющий определить температурный интервал, когда происходит кристаллизация парафина.

### ■ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

1. Какое вещество называется кристаллическим? Какое вещество называется аморфным?

2. Назовите примеры веществ, относящихся к кристаллическим и аморфным.

3. Как установить температуру плавления кристаллического материала по графику температурной динамики вещества?

4. Чем объяснить, что при кристаллизации или плавлении определенное время температура остается постоянной?

Приступая к проведению лабораторной работы, отметим, что процесс плавления и кристаллизации парафина возможно реализовать, используя фарфоровую емкость, которую выбирают вместо классической пробирки.

Процесс плавления проводится при аккуратном нагревании на плитке или водяной бане. Измельченные части парафина хорошо прилегают к шупу датчика, за счет чего возможно снять зависимость температуры от времени как при затверждении, так и при плавлении, как показано на рисунке 1.

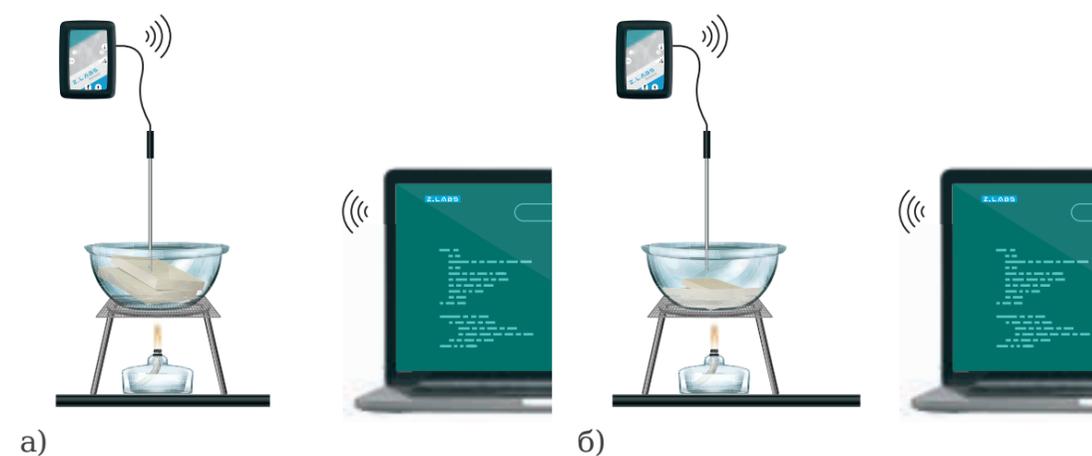


Рисунок 1.

Плавление парафина: а) начало нагревания; б) парафин почти расплавился

Парафин, представляя собой смесь твердых углеводородов, не имеет конкретных температур плавления/кристаллизации. Ввиду чего на графике корреляции температур от времени вместо плато появляются слабо выраженные изломы, как это показано на рисунке 2.

Изучение значений графика разумно проводить с сильной группой обучающихся. С ними можно дополнительно провести опыт по плавлению/затверждению сливочного масла или шоколада. Такой эксперимент

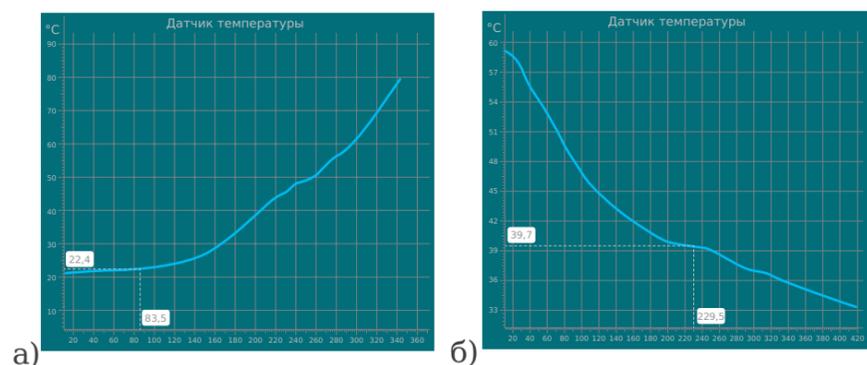


Рисунок 2.

Изменение температуры: а) при плавлении парафина; б) при затвердевании

доказывает, что, в отличие от чистого вещества, смесь не имеет постоянной температуры плавления и кристаллизации.

Температурные значения, показываемые датчиком, недостаточно погруженным в расплав, могут быть ниже действительных. При быстром охлаждении возможно занижение температур кристаллизации. Связано это с тем, что кристаллическая решетка не успевает формироваться, и какое-то время существует переохлажденная жидкость.

Завершив проведение опыта и дождавшись остывания шупа, его следует очистить от загрязнений, полученных во время лабораторной работы. Для этого используйте шпатель.

График изменения температуры разумно изучать прямо на экране, но можно и в печатном виде. Также можно выгрузить данные в *Excel* и построить по ним график.

Температурные значения кристаллизации соответствуют плато (участок, где температура не изменяется). Если брать за основу измерений парафин: в случае смеси интервалу температуры кристаллизации соответствует участок, на котором изменение температуры протекает более медленно.

Ответ изображен на рисунке 3.

В жидком состоянии молекулы движутся хаотично. Когда достигнута оптимальная температура кристаллизации, молекулы под действием сил притяжения начинают «пристраиваться» одна к другой, образуя

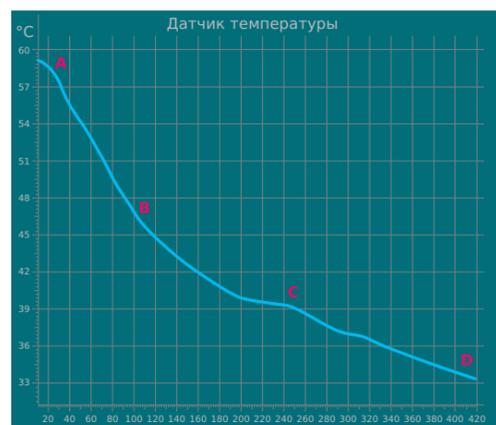


Рисунок 3.

Участки на графике зависимости температуры от времени при затвердевании парафина

кристаллические зародыши. В твердом агрегатном состоянии все молекулы упорядочены в кристаллической решетке и только слегка колеблются.

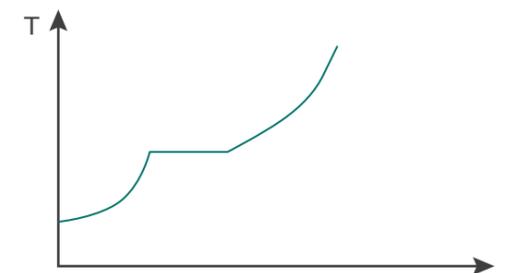


Рисунок 4.

Схема изменения температуры при плавлении чистого вещества

Если считать парафин чистым веществом, а не смесью веществ, график будет выглядеть примерно как на рисунке 4.

В действительности график будет похож на тот, что изображен на рисунке 5.

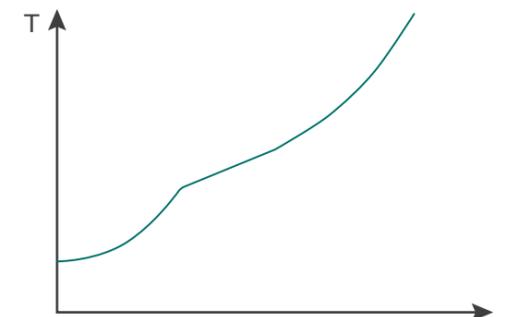


Рисунок 5.

Схема изменения температуры при плавлении смеси

При охлаждении аморфных веществ плато и перегибы отсутствуют.

## ■ ВОПРОСЫ

1. Каким образом можно по графикам колебаний температурных значений веществ понять температуру кристаллизации кристаллического вещества?

2. Используя значения графиков агрегатных состояний парафина, отметьте в нем температурные значения жидкого, твердого и смешанного состояния вещества. А также объясните специфику реакции молекул парафина в каждом агрегатном состоянии.



## Лабораторная работа № 4

## ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ. ЭКЗОТЕРМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ

**Оборудование:** мультидатчик для химического мониторинга беспроводной; температурный датчик; лабораторный штатив с 2 лапками; магнитная мешалка; мерные цилиндры на 50–100 мл; стакан химический объемом 100–150 мл; 50 мл раствора гидроксида натрия  $NaOH$  концентрации 1 М; 50 мл раствора азотной кислоты  $HNO_3$  концентрации 1 М; промывалка лабораторная; вода дистиллированная; бумага фильтровальная.

**Цель:** изучение особенностей экзотермической реакции, исследование динамики изменения температурных показателей.

### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Практически любую химическую реакцию сопровождает выделение тепла или его поглощение (см. рисунок 1). Реакции, протекающие с выделением тепловой энергии, именуются экзотермическими (от лат. «экзо» – наружу). Образующиеся при экзотермической реакции продукты содержат меньше энергии, чем первоначальные вещества, вступающие в реакцию.

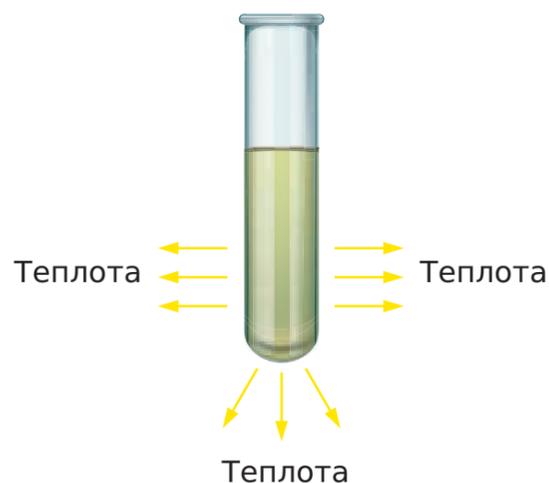


Рисунок 1.  
Схема экзотермической реакции

В процессе экзотермических реакций происходит нагрев веществ. Образующееся при реакции тепло выделяется в окружающую среду. Процесс идет до тех пор, пока существует разница температур.

Примером экзотермической реакции можно смело назвать взаимодействие кислот с основаниями. Каждый моль воды, образующийся при реакции, сопровождается выделением 57,22 кДж тепла.

### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. В химический стакан помещается якорек мешалки магнитной, используя цилиндр, наливается 50 мл 1 М раствора гидроксида натрия  $NaOH$ .
2. Стакан с налитой щелочью (1 М раствор) устанавливается на магнитную мешалку, а температурный датчик закрепляется в лапке лабораторного штатива на высоте, достаточной для того, чтобы шуп погрузился в раствор щелочи. Аккуратно включается мешалка, чтобы якорек не бил по шупу датчика и стенке стакана.
3. К ноутбуку подключается цифровой мультидатчик лаборатории «Химия», как указано в рекомендации пользователя программы «Цифровая лаборатория».
4. Запускается программа измерений «Цифровой лаборатории».
5. Мультидатчик подключается к шупу температурного датчика.
6. Добавить в химический стакан, используя измерительный цилиндр, 50 мл 1 М раствора азотной кислоты  $HNO_3$ , проследив на экране динамику температурных изменений.
7. Подождать несколько секунд, пока показания датчика стабилизируются. Записать показания, нажать «Паузу».
8. Изъять из стакана температурный датчик, промыть его дистиллированной водой, осушить, применив фильтровальную бумагу.

### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дать определение экзотермической реакции.
2. Привести примеры известных экзотермических реакций, за исключением описанной реакции взаимодействия щелочи и кислоты.
3. В экзотермической реакции большим запасом тепловой энергии обладают реагенты или продукты?

### ■ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

Данный лабораторный эксперимент может быть одним из целой серии опытов, объясняющих выделение энергии в разных видах. Чтобы его провести, необходимо использовать и другие экзотермические реакции в растворах.

Обратите внимание, что не стоит путать химическую реакцию с растворением веществ в воде.

Второй процесс у многих веществ связан значительными тепловыми эффектами. Однако когда идет речь о химических реакциях, включая на начальном этапе изучения предмета, такие примеры крайне неудачны.

При наличии малого числа учебных часов разрешено работать без штатива и магнитной мешалки. При этом придется держать датчик в руках и аккуратно размешивать им раствор.

Отметим, что экзотермичность реакции можно доказать, используя специальный прибор, который показывает рост температурных значений. Также сделать это можно по другим признакам выделения энергии – свету и пламени, а также на ощупь. При горении различных веществ возможно выделение энергии в виде света: люминесценция. Нередко встречается одновременное выделение света и тепла. Выделение электрической энергии в химической реакции происходит в батарейках и аккумуляторах. Для сильной группы при наличии времени можно продемонстрировать возникновение разности потенциалов между пластинами разных металлов. В результате химических реакций также производится работа. Большинство двигателей работает за счет энергии сгорания топлива.

### ■ ВОПРОСЫ

1. Расскажите основные способы определения экзотермической реакции. Перечислите основные виды энергии и подкрепите это примерами экзотермических реакций.



## Лабораторная работа № 5

## ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ. ЭНДОТЕРМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ

**Оборудование:** мультидатчик для химического мониторинга беспроводной; температурный датчик; лабораторный штатив с 2 лапками; магнитная мешалка; мерные цилиндры на 25–50 мл; стакан химический на 50–100 мл; твердый гидрокарбонат натрия  $\text{NaHCO}_3$  (3 г); 20 мл 20 % раствора азотной кислоты  $\text{HNO}_3$ ; лабораторные весы; химический шпатель или лопаточка; дистиллированная вода вместе с лабораторной промывалкой; фильтровальная бумага.

**Цель:** изучение процессов эндотермической реакции, определение изменений температуры при протекании реакции.

### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Реакции, сопровождающиеся поглощением энергии, получили название эндотермических (от лат. «эндо» – внутрь). Принципиальная схема такой реакции представлена на рисунке 1. Особенностью эндотермических реакций является то, что ее продукты обладают значительно большим запасом энергии, чем исходные вещества.

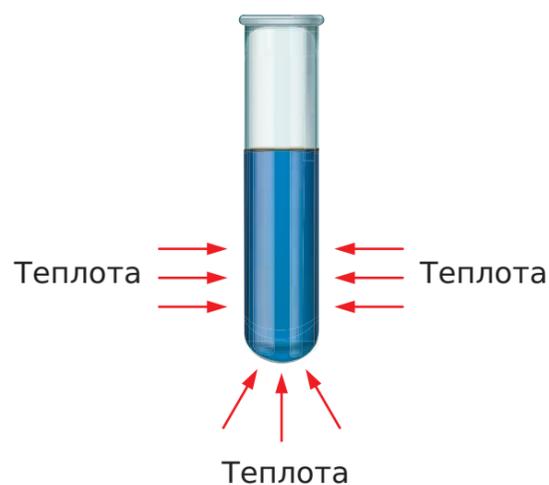


Рисунок 1.  
Схема эндотермической реакции

Эндотермические реакции не сопровождаются выделением тепла. Тепловой эффект таких реакций отрицательный. При эндотермической реакции тепло из окружающей среды поглощается раствором до тех пор, пока он не нагреется до температуры окружающей среды.

Таким образом, реакции, которым для протекания требуется посто-

### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

янное поступление энергии извне, являются эндотермическими. В природе к такому типу реакций относится разложение малахита.

1. В химический стакан помещается якорек от магнитной мешалки. Используя химический цилиндр, наливается 20 мл 20 % раствора азотной кислоты  $\text{HNO}_3$ .
2. На магнитную мешалку устанавливается химический стакан с раствором азотной кислоты  $\text{HNO}_3$ . Температурный датчик закрепляется в лапке штатива таким образом, чтобы его щуп погружался в раствор. Аккуратно включается магнитная мешалка, чтобы ее якорек при вращении не бился о стенки стакана и щуп температурного датчика.
3. К ноутбуку подключается химический цифровой мультидатчик, как указано в руководстве пользователя программы «Цифровая лаборатория».
4. Запускается программа измерений «Цифровая лаборатория».
5. Щуп температурного датчика подключается к цифровому мультидатчику.
6. Добавить в химический стакан гидрокарбонат натрия  $\text{NaHCO}_3$  (сода питьевая), проследить на экране ноутбука за изменениями температуры после добавления трех граммов  $\text{NaHCO}_3$ .
7. После пары минут, необходимых для стабилизации показаний датчиков, записать показатели и нажать на «Паузу», остановив сбор данных.
8. Достать датчик из стакана, промыть его, используя дистиллированную воду, затем осушить с помощью фильтровальной бумаги.

### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Способы классификации реакций на основе поглощения или выделения ими тепла.
2. Какая реакция является эндотермической?
3. Где больше энергии – в продуктах эндотермической реакции или в исходных материалах?
4. Приведите пример эндотермической реакции, кроме указанного разложения в природе малахита и химического взаимодействия соды с кислотой.

### ■ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

Данную лабораторную работу проводят по тем же рекомендациям, что были изложены ранее, в опыте под № 4 «Экзотермические реакции». В частности, представленная методика приемлема для большинства опытов с эндотермическими реакциями в растворах или между твердым веществом и раствором. Наиболее интересной эндотермической реакцией можно назвать контакт между кислотой и мрамором. Однако чтобы провести реакцию в предлагаемом формате, мрамор следует растереть в порошок или сильно измельчить, чтобы было легче перемешивать.

Возьмите высокий и узкий стакан, чтобы запланированный эксперимент прошел успешно. Реакция сопровождается интенсивным газовыделением. Мрамор надо стараться всыпать сразу весь. Понижение температуры для количеств, указанных в методике, составит примерно 5 °С.

Доказать экспериментально, что реакция является эндотермической, можно с помощью прибора: при протекании реакции уменьшается температура. Без прибора: сосуд, в котором протекает реакция, становится на ощупь холодным. Для протекания реакции требуется постоянное нагревание.

В ходе эндотермической реакции энергия не обязательно поглощается в виде тепла. Какие еще виды энергии вы знаете? Приведите примеры эндотермических реакций, в которых энергия поглощается не в виде тепла или не только в виде тепла.

Происходит поглощение энергии в виде света: фотосинтез; фотохимическая инициация радикальных реакций (например, реакция водорода с хлором, бромирование алканов). Поглощение электрической энергии в химической реакции происходит при электролизе.



Протекание химических реакций можно стимулировать механической работой, например, при приложении большого давления из графита получается алмаз. При растирании в ступке происходит реакция натрия и серы. Легкого прикосновения достаточно для взрыва иодида азота.

#### ■ ВОПРОС

1. Расскажите основные способы определения эндотермической реакции. Перечислите основные виды энергии и подкрепите это примерами эндотермических реакций.

### Лабораторная работа № 6

## ПРИГОТОВЛЕНИЕ РАСТВОРОВ С ОПРЕДЕЛЕННОЙ МАССОВОЙ ДОЛЕЙ РАСТВОРЕННОГО ВЕЩЕСТВА. ПЕРЕНАСЫЩЕННЫЕ РАСТВОРЫ

*Оборудование:* мультидатчик для химического мониторинга беспроводной; температурный датчик; стакан лабораторный емкостью 50 мл; цилиндр мерный 10 мл; спиртовка для нагрева или плитка; ацетат натрия кристаллический  $CH_3COONa$  12–15 г; вода дистиллированная.

*Цель:* изучить тепловой эффект, получаемый в процессе выделения кристаллов из раствора с избыточной концентрацией веществ.

#### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Раствор – это гомогенная (однофазная) система с переменным составом, в которую включено два или более компонента (вещества). Растворимость вещества определяется его способностью растворяться в определенном растворителе. В зависимости от степени растворимости вещества разделяются на ограниченно либо неограниченно растворимые.

К примеру, у этилового спирта или серной кислоты – неограниченная растворимость. Большинство веществ присуща ограниченная растворимость. Растворы, образуемые ими, могут быть ненасыщенными, насыщенными либо перенасыщенными.

Ненасыщенным растворам присуща способность растворять дополнительное количество вещества, что сопровождается повышением его концентрации, которая меньше растворимости вещества.

Насыщенный раствор находится в состоянии равновесия с веществом, которое не растворилось. В этом случае – растворимость вещества равна его концентрации в растворе.

Если раствор не имеет центра кристаллизации, а концентрация выше растворимости, образуется перенасыщенная система. Перенасыщенные растворы образуются постепенным понижением температуры образованного при нагревании насыщенного раствора. Второй вариант – медленное испарение воды из почти насыщенных растворов.

Для перенасыщенных растворов характерна нестабильность. Достаточно образоваться центру кристаллизации, просто внести кристалл растворенного вещества либо небольшое тело угловатой формы, либо потереть стеклянной палочкой по стенке сосуда, чтобы избыток химического элемента выпал в осадок, а раствор стал насыщенным.

#### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. В термостойкий стакан помещается 12–15 г ацетата кристаллического натрия, добавляется не более 5 мл дистиллированной воды.
2. Используя спиртовку или плитку, раствор в стакане нагревается при обязательном аккуратном помешивании до тех пор, пока вещество не растворится полностью.



3. Снять стакан с источника тепла, охладить его на воздухе, исключив воздействие резких потоков воздуха или попадания пыли.

4. К ноутбуку подключается цифровой лабораторный мультидатчик «Химия» на основании пользовательского руководства программы «Цифровая лаборатория».

5. Запускается программа измерений «Цифровой лаборатории».

6. Щуп температурного датчика подключается к мультидатчику.

7. Щуп температурного датчика осторожно вносится в исследуемую систему, сам датчик закрепляется в штативе. Нажимается кнопка «Пуск».

8. Щуп температурного датчика подключается к мультидатчику.

9. Для того чтобы показатели температуры на оборудовании выровнялись, следует немного подождать. Затем внести пару кристаллов ацетата натрия в раствор. Записать показатели. Продолжать наблюдение и запись показателей до тех пор, пока они не станут постоянными.

10. Остановить эксперимент, нажав на «Паузу», составить график.

#### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дать определение термину «раствор».
2. Что означает растворимость?
3. Привести пример вещества, имеющего неограниченную растворимость, желательно не тот, что указан в пособии.
4. Какой раствор называется насыщенным, какой ненасыщенным, а какой пересыщенным? Установить взаимосвязь концентрации вещества и растворимости.
5. Каким образом образуются перенасыщенные растворы?
6. Принципы образования пересыщенного раствора.
7. Что может служить центром кристаллизации раствора?

#### ■ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

Кристаллогидрат ацетата натрия при нагревании до 58 °С разрушается, выделяя воду, и ацетат натрия растворяется в собственной кристаллизационной воде. Поэтому специально воду можно не добавлять, однако небольшое количество воды облегчит образование пересыщенного раствора. Кроме того, добавление воды позволит не объяснять слабой группе обучающихся, что такое кристаллогидраты, почему они разрушаются при нагревании, чем отличается раствор от расплава и т. д.

Хорошо образует перенасыщенные растворы тиосульфат натрия. Однако при его использовании можно столкнуться с тем, что эти перенасыщенные растворы довольно устойчивы, и выделение кристаллической фазы из раствора при внесении кристаллов  $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$  не происходит. Часто не помогает и натирание стенок стакана стеклянной палочкой. В этом плане тиосульфат натрия – любопытный объект для изучения влияния различных факторов на его кристаллизацию, но плохо

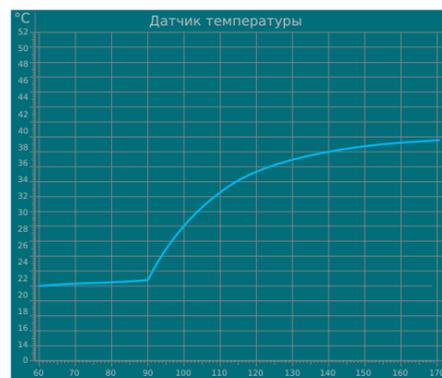


Рисунок 1.  
Схема эндотермической реакции

подходящий для демонстрационного эксперимента. Любые неоднородности в растворе могут служить центрами кристаллизации вещества.

Щуп датчика нужно вносить очень осторожно, чтобы исключить попадание посторонних веществ.

Раствор довольно быстро застывает и превращается в белую кристаллическую массу.

Кристаллики ацетата натрия служат зародышами (центрами кристаллизации), на которых происходит кристаллизация избытка вещества из раствора.

Температура при кристаллизации возрастает, как это показано на рисунке 1. Так как при образовании кристаллической решетки выделяется энергия (а на ее разрушение энергия затрачивается). Увеличение температуры может составить 15–20 °С. На ощупь стакан становится горячим.

#### ■ ВОПРОСЫ

1. Объясните причины, по которым процесс охлаждения раствора должен всегда протекать без контакта с кислородом или воздухом.
2. Обоснуйте необходимость медленного опускания щупа датчика в экспериментальный раствор.
3. Опишите влияние кристаллов ацетата натрия на химические реакции, которые происходят во время данного эксперимента.



## Лабораторная работа № 7

## ОБЩИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ. АМФОТЕРНОСТЬ $Al^{3+}$ , $Cr^{3+}$

**Оборудование:** растворы солей  $Fe_2SO_4$ ,  $FeCl_3$ ,  $Cr(NO_3)_3$ ,  $CuSO_4$ ,  $NaOH$ ,  $H_2SO_4$ ,  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $Cr(NO_3)_3$ , глюкоза,  $Fe$  - проволока, пробирки, спички, спиртовка.

**Цель:** закрепить знания общих химических свойств металлов I-III гр.; амфотерность  $Al^{3+}$ ,  $Cr^{3+}$ .

### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Основной особенностью всех металлов является наличие небольшого количества электронов на внешнем электронном уровне (от одного до трех).

Металлы легко отдают валентные электроны и являются хорошими восстановителями. Лучшими восстановителями являются щелочные и щелочноземельные металлы. По степени химической активности металлы располагают в ряд напряжений, где активность понижается слева направо:

$Li, K, Ba, Ca, Na, Mg, Al, Be, Mn, Zn, Cr, Fe, Co, Ni, Sn, Pb, H_2, Cu, Hg, Ag, Pt, Au.$

1. Чем левее находится металл в ряду напряжений, тем он химически более активен.
2. Чем правее расположен металл, тем он химически менее активен.
3. Каждый металл ряда восстанавливает катионы всех следующих за ним в ряду металлов из растворов их солей.
4. Металлы, стоящие в ряду левее водорода, восстанавливают его из разбавленных кислот.

Металлы, находящиеся в ряду правее водорода, не вытесняют его из кислот.

### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

Опыт 1. Взаимодействие металлов с солями.

1. Железную скрепку на нитке опустить в раствор медного купороса  $CuSO_4$ .
2. Рассмотреть результат реакции через 1-2 минуты.
3. Составить уравнение и разобрать его в свете ОВР.
4. Результаты занесите в таблицу 1.

Опыт 2. Окрашивание пламени солями натрия и калия.

1. Нагрейте в пламени железную проволоку.
2. Смочите проволоку раствором хлорида натрия  $NaCl$  и внесите в пламя спиртовки.
3. То же самое сделайте с раствором хлорида калия  $KCl$ .
4. Наблюдайте, в какой цвет окрасилось пламя. Результаты занесите в таблицу 1.

Опыт 3. Взаимодействие металлов с кислотами.

1. Опустите стружки магния  $Mg$  в раствор серной кислоты  $H_2SO_4$ .
2. Выделяющийся газ проверьте спичкой.
3. Результаты занесите в таблицу 1.

Опыт 4. Амфотерность металлов и их соединений.

1. В две пробирки поместить стружки алюминия  $Al$ .
2. В одну пробирку со стружкой добавить серную кислоту  $H_2SO_4$  и нагреть ее.
3. Проверить выделяющийся газ спичкой.
4. В другую пробирку добавить щелочь, нагреть ее.
5. Проверить выделяющийся газ спичкой.
6. Результаты занесите в таблицу 1.

Опыт 5. Получить реакцией обмена гидроксид алюминия  $Al(OH)_3$  и доказать его амфотерность.

Результаты занесите в таблицу.

Опыт 6. Получить гидроксид хрома (III)  $Cr(OH)_3$  и доказать его амфотерность.

Результаты занесите в таблицу 1.

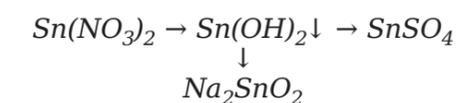
Таблица 1

Результаты работы

Что делали	Что наблюдали	Выводы и уравнения реакций

### ■ КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

Написать молекулярные и ионные уравнения реакций по схеме:





## ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ДЛЯ 9 КЛАССА

### Лабораторная работа № 8

#### РЕАКЦИИ ИОННОГО ОБМЕНА

*Оборудование:* магнитная мешалка; дистиллированная вода; беспроводной датчик по химическому мониторингу; сахар; соль; датчик электропроводности; 2 химических стакана объемом 50 мл.

*Цель:* проиллюстрировать классификацию веществ: электролиты и неэлектролиты.

#### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Не все растворы способны проводить электрический ток. Те вещества, расплавы или водные растворы, которые могут проводить электрический ток, называются электролитами. Это соли, основания и кислоты. Растворяясь в воде, электролиты диссоциируют на отрицательные (анионы) и положительные (катионы) ионы. Неэлектролиты – это вещества, которые не способны проводить электрический ток (например дистиллированная вода).

Распад электролита на ионы – это процесс электролитической диссоциации. Исследуя электропроводность разных веществ, шведский физико-химик С. Аррениус (1859–1927) в 1877 г. пришел к выводу, что причина электропроводности кроется в присутствии ионов в растворе, которые образуются при помощи растворения электролитов в воде. Русские химики В. А. Кистяковский (1865–1952) и И. А. Каблуков (1857–1942), используя в своих исследованиях химическую теорию Д. И. Менделеева (1834–1907), доказали, что в момент растворения электролита растворенное вещество взаимодействует с водой, что в свою очередь приводит к образованию гидратов (т. е. в растворе присутствуют не свободные ионы, а гидратированные).

**Молекула воды** – это диполь (2 полюса), поскольку атомы водорода расположены под углом 104,5 градуса относительно атома кислорода, поэтому молекула имеет угловую форму (см. рисунок 1).

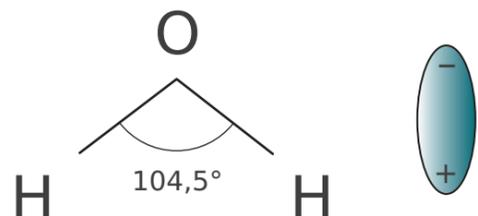


Рисунок 1.  
Молекула воды

Вещества с ионной связью и с ионной кристаллической решеткой с легкостью диссоциируют (распадаются), потому что в их состав входят готовые ионы. При их растворении диполи воды ориентируются противоположно заряженными концами вокруг отрицательных и положительных

ионов электролита (см. рисунок 2). Между диполями воды и ионами электролита появляется сила взаимного притяжения, после чего химическая связь между ионами ослабевает, и происходит переход ионов из кристалла в раствор.

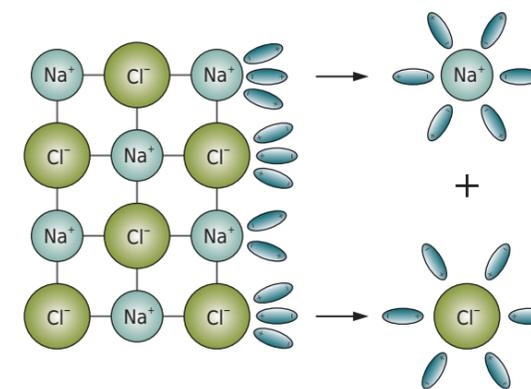


Рисунок 2.  
Схема электролитической диссоциации хлорида натрия на гидратированные ионы

Происходящие процессы можно отобразить с помощью формулы:



где:

( $\kappa$ ) – кристаллическое состояние;

( $p$ ) – нахождение в растворе.

Зачастую в уравнениях диссоциации значки ( $\kappa$ ) и ( $p$ ) убирают, и получается следующая формула:



При диссоциации электролитов, в молекулах которых существует ковалентная полярная связь (например, молекул хлороводорода  $HCl$ ), под влиянием диполей воды связь ослабляется и разрывается на ионы.

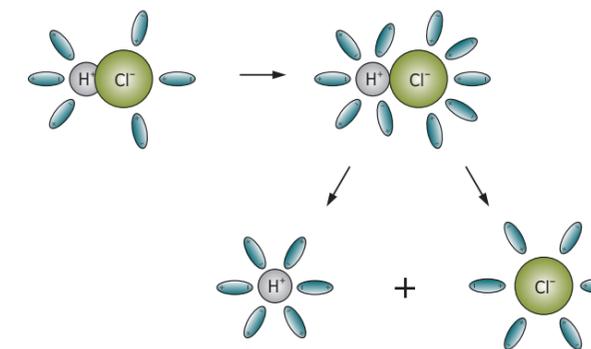
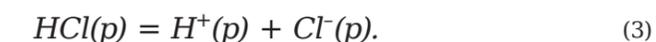


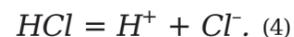
Рисунок 3.  
Схема электролитической диссоциации полярной молекулы хлороводорода на гидратированные ионы

Уравнение диссоциации соляной кислоты можно представить следующим образом:





или



В растворах электролитов хаотически движущиеся гидратированные ионы могут как объединиться, так и оттолкнуться. Такой обратный процесс называют ассоциацией.

У гидратированных и негидратированных ионов различаются свойства. К примеру, негидратированный ион меди  $Cu^{2+}$  – бесцветный в безводных кристаллах сульфата меди (II)  $CuSO_4$ , и имеет голубой цвет когда гидратирован, т. е. связан с молекулами воды в кристаллах медного купороса  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ .

#### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Промывалкой сполоснуть нижнюю часть датчика электропроводности дистиллированной водой, после чего осушить его фильтровальной бумагой.
2. Зафиксировать датчик электропроводности в лапке штатива.
3. Подключить датчик лаборатории «Химия» к компьютеру или ноутбуку в соответствии с руководством пользователя ПО «Цифровая лаборатория». Запустить программу измерений.
4. Подключить к мультидатчику щуп датчика электропроводности.
5. В химический стакан налить 25 мл воды и опустить в этот стакан датчик, измерить электропроводность раствора. Когда показания перестанут колебаться, нажать на «Паузу».
6. Поставить стакан с водой на магнитную мешалку, добавить в него 1 г сахара и нажать на «Пуск». Далее нужно включить мешалку и измерить электропроводность раствора. Когда показания перестанут колебаться, нажать на «Паузу».
7. В новый стакан с водой добавить 1 г соли и нажать на «Пуск». При включенной мешалке проследить за изменением электропроводности раствора.
8. Результаты измерения электропроводности занести в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты измерения электропроводности

Исследуемый раствор	Электропроводность, мкСм
Вода	
Вода + сахар	
Вода + соль	

9. Вытащить датчик электропроводности, промыть его дистиллированной водой и вытереть фильтровальной бумагой.

#### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое электролиты и неэлектролиты? Приведите примеры.
2. Что такое электролитическая диссоциация?
3. Какая форма у молекулы воды.
4. Какие вещества диссоциируют легче всего и почему?
5. Как происходит электролитическая диссоциация молекулярных и ионных веществ?
6. Объясните электрическую проводимость водных растворов электролитов?

#### ■ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

Приступая к выполнению данной лабораторной работы, у учеников могут возникнуть вопросы о единице электропроводности (мкСм).

Здесь следует понимать, что Сименс (единица системы СИ) величина, в которой измеряется проводимость участка электрической цепи. Проводимость, величина обратная сопротивлению, измеряющегося в Омах.

Допускается не закреплять датчик в лапке штатива. В качестве альтернативы его можно придерживать руками, не касаясь чувствительным элементом стенок и дна стакана, и аккуратно помешивать им раствор.

Приступая к проведению эксперимента, отметим, нет никаких отличий электропроводности воды и водного раствора сахара. Связано это с тем, что электропроводность может составлять до 15–20 мкСм за счет того, что дистиллированная вода поглощает углекислый газ и образующаяся угольная кислота незначительно диссоциирует. Сахар – неэлектролит, его добавление не приводит к появлению в растворе носителей электрического заряда.

А вот что касается значений электропроводности водного раствора сахара и водного раствора соли, то они между собой различаются. Электропроводность раствора соли намного выше (на 3–4 порядка).

Соль – электролит, при ее растворении происходит электролитическая диссоциация и появляется большое количество носителей электрического заряда. Таким образом, вода и соль могут именоваться электролитами, а вот к сахару такое понятие не применимо.

#### ■ ВОПРОС

Существуют ли какие-либо различия в электропроводности воды, водного раствора сахара, водного раствора соли? Каковы эти значения и почему существует такая разница?



## Лабораторная работа № 9

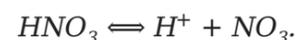
## РЕАКЦИИ ИОННОГО ОБМЕНА. ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКАЯ ДИССОЦИАЦИЯ

*Оборудование:* растворы кислот, щелочей, солей; индикаторы (фенолфталеин, лакмус); чистые пробирки; спички.

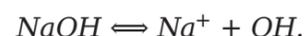
*Цель:* используя знания по теории электролитической диссоциации, научиться проводить реакции ионного обмена, идущие до конца, и записывать уравнения реакции ионного обмена.

### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

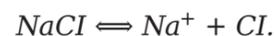
**Электролиты** – вещества, проводящие электрический ток в расплавленном или растворенном состоянии. Процесс распада веществ на ионы называется электролитической диссоциацией. Кислоты в водных растворах диссоциируют на катионы водорода и анионы кислотного остатка, например:



**Основания** (гидроксиды металлов) – на катионы металлов и гидроксид анионов, например:



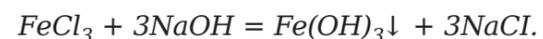
**Соли** – на катионы металла и анионы кислотного остатка, например:



В растворах электролитов (кислот, щелочей, солей) происходит реакция между ионами, поэтому необходимым условием течения реакции обмена является образование труднорастворимых или слабодиссоциирующих веществ. Если при смешивании растворов двух электролитов не образуется осадка, газообразного или слабодиссоциирующего вещества, то реакция практически не идет.

Реакции в растворах между электролитами обычно изображаются при помощи ионных уравнений, в которых труднорастворимые вещества (твердые и газообразные), а также слабые электролиты, например, уксусная кислота, вода, гидроксид аммония и другие, пишутся в виде молекул.

Порядок составления ионных уравнений. Уравнение реакции записывается в молекулярной форме:



Уравнение переписывается в ионной форме, при этом газообразные, нерастворимые и малорастворимые вещества, а также слабые электролиты записываются в виде молекул:



Ионы, встречающиеся в левой и правой части частей уравнения в равных количествах, исключаются, после чего записывается ионное уравнение реакции в его окончательном виде:



При составлении ионных уравнений нужно пользоваться таблицей растворимости.

### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

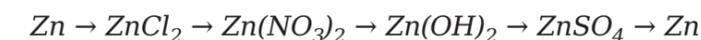
1. Проведение реакций ионного обмена между растворами электролитов.  
С помощью данных реактивов получить нерастворимое основание:  
1 вариант –  $Cu(OH)_2$ .  
2 вариант –  $Fe(OH)_3$ .
2. Провести реакцию ионного обмена с образованием газообразного продукта согласно краткому ионному уравнению:  
1 вариант –  $2H^+ + CO_3^{2-} = H_2O + CO_2$ .  
2 вариант –  $2H^+ + SO_3^{2-} = H_2O + SO_2$ .
3. Провести реакцию нейтрализации в следующей последовательности:  
1 вариант – щелочь ( $NaOH$ ) + фенолфталеин + кислота ( $HCl$ ).  
2 вариант – кислота ( $H_2SO_4$ ) + лакмус + щелочь ( $NaOH$ ).
4. Экспериментальная задача.  
Провести реакцию ионного обмена с получением осадков по краткому ионному уравнению.  
1 вариант –  $Ba^{2+} + CO_3^{2-} \rightarrow BaCO_3 \downarrow$ .  
2 вариант –  $Ba^{2+} + SO_4^{2-} \rightarrow BaSO_4 \downarrow$ .
5. Составить молекулярные, полные и краткие ионные уравнения проделанных реакций.
6. Результаты работы оформить в виде таблицы 1.

Таблица 1

Что делали	Что наблюдали	Выводы и уравнения реакций

### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Написать уравнения реакций по схеме:



1. Для реакций ионного обмена записать молекулярные, полные и краткие ионные уравнения.
2. Для окислительно-восстановительных реакций указать окислитель, восстановитель и переход электронов.



## Лабораторная работа № 10

## РЕАКЦИИ ИОННОГО ОБМЕНА. ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ СИЛЬНЫХ И СЛАБЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

**Оборудование:** беспроводной датчик по химическому мониторингу; промывалка с дистиллированной водой; датчик электропроводности; фильтровальная бумага; 3 химических стакана объемом 25–50 мл; 0,1 М растворы азотной, соляной и уксусной кислот.

**Цель:** изучить сильные и слабые электролиты, сравнить их электропроводность.

## ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Все растворы электролитов характеризуются степенью диссоциации, которая обозначается буквой  $\alpha$  (альфа).

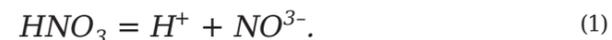
**Степень диссоциации** – это отношение количества вещества электролита, распавшегося на ионы, к количеству растворенного вещества.

Степень диссоциации электролита определяется с помощью опытов и выражается в процентах или долях. Если  $\alpha = 1$ , или 100 %, то электролит распадается на ионы, если  $\alpha = 0$ , то диссоциация отсутствует. Степень диссоциации зависит от:

- природы электролита;
- концентрации электролита;
- природы растворителя;
- температуры.

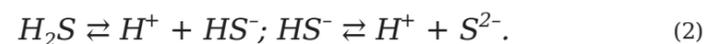
Способность к диссоциации электролитов может быть сильной или слабой.

1) Сильные электролиты – это те, которые в растворе существуют в виде ионов. К ним относятся: соли, сильные кислоты ( $HNO_3$ ,  $H_2SO_4$ ,  $HBr$ ,  $HCl$ ), сильные основания (гидроксиды щелочноземельных и щелочных металлов). Сам процесс диссоциации сильных электролитов идет до конца, в таких уравнениях ставится знак равенства:



Раствор сильных электролитов при больших концентрациях обладает большой электропроводностью. Степень диссоциации в растворах с сильными электролитами близко к 1.

2) Слабые электролиты – это те, которые в растворе находятся в виде молекул и в виде ионов. К ним относятся: органические и неорганические кислоты ( $HNO_2$ ,  $H_2S$ ,  $H_2CO_3$ ,  $H_3PO_4$ ), гидроксиды металлов ( $Mg(OH)_2$ ,  $Cu(OH)_2$ ), водные растворы органических оснований (аминов) и аммиака  $NH_3$ ,  $H_2O$ , растворимые органические соединения, за исключением органических солей. Диссоциация слабых электролитов обратима. В растворах со слабыми электролитами устанавливается равновесие между недиссоциированными молекулами и ионами. В уравнениях диссоциации ставится знак обратимости:



## ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

Растворам со слабыми электролитами свойственна незначительная электропроводность.

1. Промывалкой и дистиллированной водой сполоснуть нижнюю часть датчика электропроводности, после чего высушить его фильтровальной бумагой.
2. Подключить датчик лаборатории «Химия» к компьютеру или ноутбуку в соответствии с руководством пользователя ПО «Цифровая лаборатория». Запустить программу измерений.
3. Подключить к мультидатчику щуп датчика электропроводности.
4. В химический стакан налить 25 мл 0,1 М раствора уксусной кислоты.
5. Погрузить в раствор щуп датчика электропроводности и нажать на «Пуск».
6. Далее подождать несколько секунд, пока установятся показания, и нажать на «Паузу». Зафиксировать электропроводность раствора.
7. Вынуть датчик электропроводности, промыть его дистиллированной водой и вытереть фильтровальной бумагой.
8. Повторить пп. 4–7 с 0,1 М раствором соляной кислоты.
9. Повторить пп. 4–7 с 0,1 М раствором азотной кислоты.
10. Результаты полученных данных занести в таблицу 1.

Результаты измерений

Таблица 1

Измеряемый параметр	0,1 М раствор $CH_3COOH$	0,1 М раствор $HCl$	0,1 М раствор $HNO_3$
Электропроводность, мкСм			

## ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое степень диссоциации электролита и отчего она зависит?
2. Дайте определение понятиям «сильные электролиты» и «слабые электролиты». Приведите примеры.
3. Какова степень электропроводности сильных и слабых электролитов?

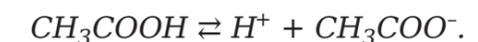
## ■ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

В данной лабораторной работе проанализируем различия значений электропроводности растворов соляной и азотной кислот. У данных материалов имеются несущественные различия, в пределах погрешности приготовления растворов и измерений. Обе эти кислоты сильные, диссоциируют в растворе нацело. Поэтому электропроводность растворов одинаковой молярной концентрации близка. Ее значение составляет примерно 20 000 мкСм.

Что же касается соляной и уксусной кислоты, то разница между ними более существенная. Так как соляная кислота диссоциирует полностью, а уксусная – нет. Степень диссоциации уксусной кислоты в 0,1 М растворе около 1,5 %. Значение электропроводности примерно 300–400 мкСм.

Соляную кислоту можно назвать сильным, а уксусную кислоту слабым электролитом.

Ниже предлагаем ознакомиться с уравнением диссоциации изученных кислот.



## ■ ВОПРОСЫ

1. Перечислите, какие вы знаете сильные и слабые электролиты из кислот, с которыми удалось столкнуться во время выполнения лабораторных работ.
2. Назовите степень электропроводности уксусной и соляной кислоты.



## Лабораторная работа № 11

## УСЛОВИЯ ПРОТЕКАНИЯ РЕАКЦИЙ ИОННОГО ОБМЕНА. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ДИССОЦИАЦИЮ

**Оборудование:** беспроводной датчик по химическому мониторингу; датчик температуры; фильтровальная бумага; датчик электропроводности; лабораторная промывалка; лабораторный штатив с 2 лапками; химический стакан объемом 50–100 мл; магнитная мешалка с подогревом; 0,1 М раствор винной, уксусной или лимонной кислоты.

**Цель:** сформировать представление о роли температуры в электролитической диссоциации.

### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- Запустить программу измерений и настроить датчики температуры и электропроводности. Нажать на «Пуск».
- Включить подогрев мешалки. Записывать показатели зависимости электропроводности от температуры в течение 6 минут.
- Нажать на «Паузу». Достать датчик электропроводности, вымыть дистиллированной водой и вытереть фильтровальной бумагой.

### ■ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

- Что такое степень диссоциации электролита? От чего она зависит?
- Какова роль температуры в процессе электролитической диссоциации?
- Как и почему степень диссоциации зависит от температуры?

В данной лабораторной работе разрешено использовать кислоты, перечисленные в пособии, а также иные слабые электролиты, демонстрирующие хорошую растворимость в воде. В частности, это может быть и аммиак.

Применяя связку 2 датчиков на графике синхронно, видны их показания на рисунке 1. Поскольку анализировать их по подобному изображению проблематично, так как масштаб представления данных плохо совместим: температура изменяется в диапазоне 20–50 °С, а значения электропроводности находятся вблизи 5000 мкСм. Если же рассматривать каждый график в своем масштабе, то теряется наглядная синхронизация. Ввиду чего рационально выгрузить данные в виде таблицы и построить по ним в таблице Excel зависимость электропроводности от температуры, как это показано на рисунке 3.

### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Степень диссоциации ( $\alpha$ ) – это отношение количества вещества электролита, распавшегося на ионы, к общему количеству растворенного вещества. Степень диссоциации выражают в процентах или долях.

Измерение электропроводности раствора электролита позволяет оценить степень его диссоциации, поскольку при электролитической диссоциации в растворе выявляются ионы-носители электрического заряда и электропроводность увеличивается.

Степень диссоциации зависит от:

- природы электролита;
- концентрации электролита;
- природы растворителя;
- температуры.

При растворении диполи растворителя ориентируются противоположно заряженными концами вокруг частиц электролита, притягиваясь к ним и ослабляя связь в кристаллической решетке или в молекуле до разрыва такой связи, т. е. акта электролитической диссоциации. При высокой температуре движение диполей воды и частиц растворенного вещества интенсивнее, поэтому они начинают сталкиваться, совершая разрыв связи в веществе. Таким образом, степень диссоциации зависит от температуры.

### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

- Промывалкой с дистиллированной водой сполоснуть нижнюю часть датчика электропроводности, затем осушить его фильтровальной бумагой.
- Подключить датчик лаборатории «Химия» к компьютеру или ноутбуку в соответствии с руководством пользователя ПО «Цифровая лаборатория». Запустить программу измерений.
- Подключить к мультидатчику щуп температурного датчика и датчика электропроводности. Зафиксировать щупы датчиков в штативе.
- В химический стакан налить 25–50 мл 0,1 М раствора кислоты. Поставить его на магнитную мешалку и поместить в него якорек мешалки. Опустить в жидкость щупы датчиков. Включить мешалку, при этом якорек и щупы датчиков не должны биться о стенки стакана.

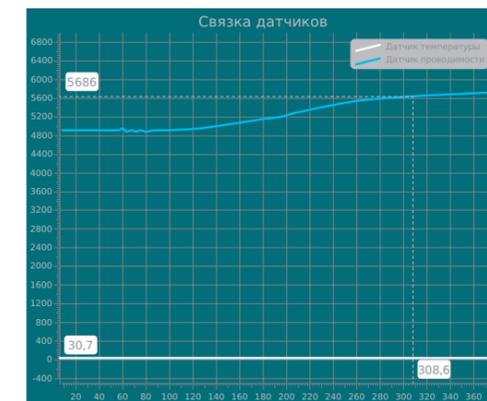


Рисунок 1.  
График, отражающий связку датчиков

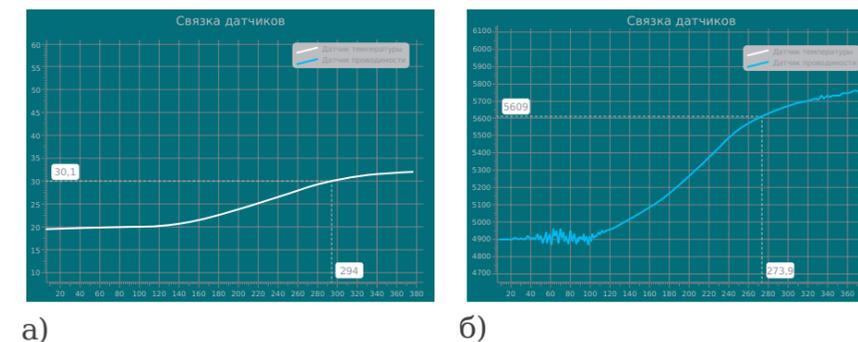


Рисунок 2.  
Фрагменты предыдущего графика, каждый в своем масштабе:  
а) изменение температуры, б) изменение проводимости

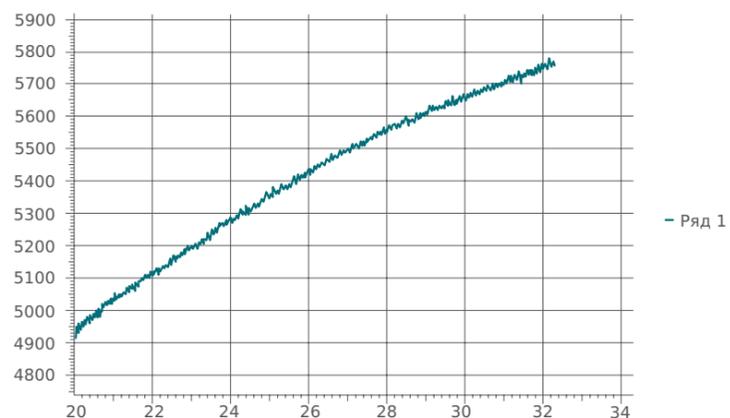


Рисунок 3.  
Зависимость электропроводности от температуры, построенная по выгруженным данным в Excel

Выбор в пользу слабого электролита в работе обусловлен тем, что сильный электролит диссоциирует в растворе нацело (степень диссоциации близка к 100 %). Поэтому заметного изменения электропроводности, отражающего изменение степени диссоциации, мы не увидим.

Электропроводность увеличивается, поскольку растет степень диссоциации и увеличивается концентрация ионов – носителей электрического заряда.

#### ■ ВОПРОС

1. Объясните, существует ли взаимосвязь между ростом электропроводности вещества и нагреванием этого вещества. А также объясните, почему для данного опыта предпочтителен слабый электролит?



## Лабораторная работа № 12

### УСЛОВИЯ ПРОТЕКАНИЯ РЕАКЦИЙ ИОННОГО ОБМЕНА. ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРА НА ДИССОЦИАЦИЮ

*Оборудование:* дистиллированная вода; беспроводной датчик по химическому мониторингу; датчик электропроводности; концентрат уксусной кислоты; химический стакан объемом 100 и 250 мл; мерный цилиндр; магнитная мешалка или стеклянная палочка.

*Цель:* изучить влияние концентрации раствора электролита на его электролитическую диссоциацию.

#### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

С помощью измерения электропроводности раствора электролита можно оценить его диссоциацию, поскольку при электролитической диссоциации в растворе появляются ионы – носители электрического заряда, тем самым электропроводность увеличивается.

Степень диссоциации зависит от:

- природы электролита;
- концентрации электролита;
- природы растворителя;
- температуры.

При растворении диполи растворителя ориентируются противоположно заряженными концами вокруг частиц электролита, притягиваясь к ним и ослабляя связь в кристаллической решетке или в молекуле, до разрыва данной связи, т. е. акта электролитической диссоциации. Когда концентрация электролита близка или равна 100 %, то в растворе мало молекул воды в сравнении с частицами электролита, поэтому мала вероятность разрыва связей. При разбавлении, когда число молекул воды растет, они разрывают связи и степень диссоциации увеличивается.

#### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Промывалкой и дистиллированной водой сполоснуть нижнюю часть датчика электропроводности, далее высушить его фильтровальной бумагой.
2. Подключить датчик лаборатории «Химия» к компьютеру или ноутбуку в соответствии с руководством пользователя ПО «Цифровая лаборатория». Запустить программу измерений.
3. Подключить к мультидатчику щуп датчика электропроводности.
4. В химический стакан налить 25 мл концентрата уксусной кислоты и запустить программу, нажав на «Пуск».
5. Положить в кислоту щуп датчика электропроводности, в течение нескольких секунд подождать установления показаний, нажать на «Паузу», затем зафиксировать электропроводность раствора.
6. Добавить в стакан 15–20 мл воды, размешать магнитной мешалкой или стеклянной палочкой. Затем повторить п. 5.



7. Повторить п. 6 восемь раз.
8. Вынуть датчик электропроводности, помыть дистиллированной водой и высушить фильтровальной бумагой.

#### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое степень диссоциации электролита? От чего она зависит?
2. Какова роль молекул воды в процессе электролитической диссоциации?
3. Как и почему зависит степень диссоциации от концентрации раствора электролита?

#### ■ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

В данной лабораторной работе разрешено использовать уксусную кислоту, а также концентрированные растворы других слабых электролитов. В том числе это может быть и аммиак. Аммиак и уксусная кислота летучи, и если банки с ними стояли достаточно долго, будучи закрытыми негерметично, концентрация их раствора существенно снижается. Эффект роста электропроводности при разбавлении на начальном участке может быть незаметен. Можно взять фосфорную кислоту, предпочтительно свежую. Поскольку это гигроскопичное вещество, поглощающее воду из воздуха, если банка закрыта негерметично. В связи с этим рекомендуется проверить растворы заранее.

У аммиака насыщенный раствор имеет концентрацию всего 25 %  $NH_4OH$ , нужно прибавлять воду мелкими порциями (по 5 мл). Можно использовать вместо цилиндра пипетку-дозатор.

Можно также выполнять работу с прибавлением воды по каплям. Для измерения объема добавленной воды используйте связку с датчиком – счетчиком капель.

- Датчик следует предварительно откалибровать (см. раздел «Подготовка датчиков к работе»).
- Кран бюретки отрегулировать таким образом, чтобы капли падали быстро, но не сливались.
- Эффективное перемешивание обеспечивается применением магнитной мешалки. При этих условиях эксперимент протекает достаточно быстро. Однако в этом варианте затруднительно сменить стакан на стакан большего объема.

Твердые слабые электролиты (такие как лимонная или винная кислота) использовать не нужно. Их растворимость ограничена, и даже насыщенный раствор этих кислот не является достаточно концентрированным, чтобы проявился эффект роста электропроводности при разбавлении.

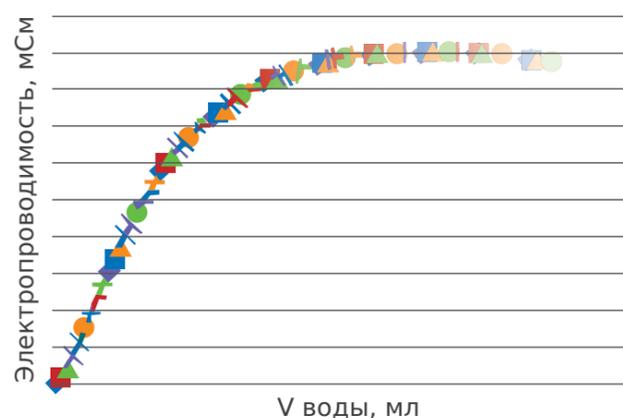


Рисунок 1.  
Зависимость электропроводности уксусной кислоты от объема добавленной воды

Для опытов рационально использовать слабый электролит. Поскольку сильный электролит диссоциирует в растворе нацело (степень диссоциации близка к 100 %). Поэтому заметного изменения электропроводности, отражающего изменение степени диссоциации, мы не увидим.

При добавлении первых порций воды электропроводность увеличивается. Ввиду того, что в растворе появляются молекулы воды, взаимодействующие с молекулами уксусной кислоты, и степень диссоциации растет.

Первый участок: увеличение электропроводности из-за появления молекул воды. Третий участок: уменьшение электропроводности из-за уменьшения концентрации ионов. Второй участок: электропроводность почти постоянна, оба фактора компенсируют друг друга.

Электропроводность уменьшается, так как количество молекул воды уже достаточно для взаимодействия с молекулами уксусной кислоты, и дальнейшее разбавление просто уменьшает концентрацию ионов – носителей электрического заряда.

Чем больше концентрация электролита, тем меньше степень диссоциации.

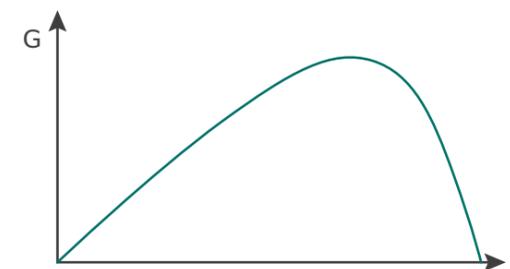


Рисунок 2.  
Зависимость электропроводности уксусной кислоты от концентрации

#### ■ ВОПРОСЫ

1. Какой тип электролита был использован для этого эксперимента?
2. Объясните, что происходит с электропроводностью раствора при добавлении первых и последних порций воды?
3. Разработайте график корреляции электропроводности раствора фосфорной кислоты, в зависимости от ее концентрации.



## Лабораторная работа № 13

## ВЛИЯНИЕ РАСТВОРИТЕЛЯ НА ДИССОЦИАЦИЮ

**Оборудование:** беспроводной датчик по химическому мониторингу; мерный цилиндр на 25–50 мл; датчик электропроводности; магнитная мешалка; химический стакан объемом 50 мл; этиловый спирт; 0,3–0,5 г хлорид кобальта  $CoCl_2$  или хлорид меди  $CuCl_2$  (безводные или кристаллогидраты); лопаточка или шпатель; лабораторный штатив с лапкой.

**Цель:** изучить роль растворителя в электролитической диссоциации.

### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Степень диссоциации электролита определяется с помощью опытов и выражается в процентах или долях. Если  $\alpha = 1$ , или 100 %, то электролит распадается на ионы, если  $\alpha = 0$ , то диссоциация отсутствует. Степень диссоциации зависит от:

- природы электролита;
- концентрации электролита;
- природы растворителя;
- температуры.

При растворении диполи растворителя ориентируются противоположно заряженными концами вокруг частиц электролита, притягиваясь к ним и ослабляя связь в кристаллической решетке или в молекуле, до разрыва данной связи, т. е. акта электролитической диссоциации. Чем полярнее молекулы растворителя (чем больше величина диполя), тем больше вероятность электролитической диссоциации. Таким образом, степень диссоциации зависит от полярности растворителя.

### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Промывалкой и дистиллированной водой сполоснуть нижнюю часть датчика электропроводности, далее высушить его фильтровальной бумагой.
2. Подключить датчик лаборатории «Химия» к компьютеру или ноутбуку в соответствии с руководством пользователя ПО «Цифровая лаборатория». Запустить программу измерений.
3. Подключить к мультидатчику щуп датчика электропроводности.
4. В химический стакан насыпать 0,3–0,5 г хлорида кобальта  $CoCl_2$  или хлорида меди (II)  $CuCl_2$  и налить 25 мл спирта. Перемешивать вещество при помощи магнитной мешалки до его растворения.
5. Опустить в раствор щуп датчика электропроводности, в течение нескольких секунд подождать установления показаний и нажать на «Паузу». Зафиксировать электропроводность раствора, обращая внимание на цвет раствора.
6. Влить в раствор 25 мл воды, помешивать, в течение нескольких секунд подождать установления показаний. Зафиксировать электропроводность раствора, обращая внимание на цвет раствора.
7. Нажать на «Паузу». Вынуть датчик электропроводности, вымыть его дистиллированной водой и высушить фильтровальной бумагой.

### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое степень диссоциации электролита и от чего она зависит?
2. Какова роль растворителя в процессе электролитической диссоциации?
3. Как и почему зависит степень диссоциации от природы растворителя?

### ■ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

В данной лабораторной работе разрешено использовать кристаллогидраты. Поскольку они содержат воду, которая переходит в раствор из кристаллической решетки. При необходимости можно получить в начале чисто спиртовой раствор. Для этого применяйте безводные соли. Чтобы их получить, прокаливайте кристаллогидраты в атмосфере хлороводорода.

Небольшое количество воды из кристаллогидрата не влияет на начальный цвет раствора и очень слабо влияет на начальное значение электропроводности, поэтому проще использовать кристаллогидраты.

Помимо хлоридов меди и кобальта, можно исследовать хлорид никеля. Однако цвет раствора при разбавлении меняться практически не будет, как показано в таблице 1.

Окраска водных и спиртовых растворов

Таблица 1

	$CoCl_2$	$CuCl_2$	$NiCl_2$
Спиртовой раствор			
Водный раствор			

Помимо этилового спирта, для проведения опыта можно использовать другие спирты, хорошо растворимые в воде:

- пропанол-1,
- пропанол-2.

Использование ацетона, несмотря на хорошую растворимость в воде, нежелательно, поскольку он может повредить пластиковые элементы датчика.

В спиртовых растворах электропроводность обычно находится в пределах 900–2500 мкСм, в водных растворах – 17 000–20 000 мкСм.

Для сильной группы обучающихся можно усложнить работу.

- Вместо прибавления воды к раствору одной большой порцией добавлять воду по 1 мл из бюретки или пипетки-дозатора.
- Допустимо также применение мерного цилиндра объемом 5–10 мл или мерной пипетки, однако при этом нужно учитывать, что работа занимает много времени.

В последнем варианте можно проводить лабораторную работу, но не демонстрационный эксперимент. После прибавления каждой новой



порции воды нужно фиксировать значение электропроводности. Прилив таким образом 25 мл воды, следует построить график зависимости электропроводности от объема добавленной воды. Полученный график состоит из трех участков:

- Первый участок: увеличение электропроводности из-за увеличения полярности растворителя, которая приводит к большей степени диссоциации.
- Второй участок: электропроводность почти постоянна, оба фактора компенсируют друг друга.
- Третий участок: уменьшение электропроводности из-за уменьшения концентрации ионов (электропроводность уменьшается, так как все ионы уже гидратированы, и дальнейшее разбавление просто уменьшает концентрацию ионов – носителей электрического заряда).

Представляет интерес проведение работы с прибавлением воды по каплям, при этом для измерения объема добавленной воды можно использовать связку с датчиком – счетчиком капель.

Датчик следует предварительно откалибровать (см. раздел «Подготовка датчиков к работе»), а кран бюретки отрегулировать таким образом, чтобы капли падали быстро, но не сливались. Эффективное перемешивание обеспечивается применением магнитной мешалки. При этих условиях эксперимент протекает достаточно быстро, и получаются хорошие графики зависимости электропроводности от разбавления раствора, как показано на рисунке 1.

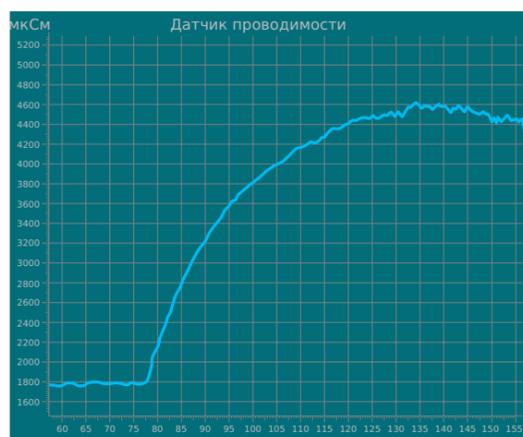


Рисунок 1.  
Изменение электропроводности спиртового раствора  $CoCl_2$  при добавлении воды по каплям

Отметим, что при добавлении воды электропроводность увеличивается, так как добавляется полярный растворитель, и степень диссоциации растет. В том числе добавление воды провоцирует изменение окраски раствора, что в водном растворе ионы гидратированы, т. е. окружены диполями воды.

Учитывая тот факт, что в воде диссоциация лучше, поскольку молекулы воды полярнее. Величина частичных положительных и отрицательных зарядов на концах диполей выше, взаимодействие с ионами происходит интенсивнее.

1. Назовите причины, по которым меняется цвет раствора в случае добавления в него воды.
2. Объясните, в спирте или воде электролитическая диссоциация будет лучше, а также обоснуйте свой ответ.

## Лабораторная работа № 14

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ pH РАЗНЫХ РАСТВОРОВ

**Оборудование:** лабораторные стаканы объемом 25–50 мл; датчик pH; дистиллированная вода; по 20 мл 0,1 М растворов уксусной кислоты  $CH_3COOH$ , соляной кислоты  $HCl$ , аммиака  $NH_3$ , гидроксида натрия  $NaOH$ ; 10 пробирок; кислотно-основный индикатор; штатив для пробирок; водопроводная вода.

**Цель:** сформировать представление о pH как о характеристике кислотности среды.

#### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Для того чтобы охарактеризовать кислотную среду, используют водородный показатель pH. Он связан с концентрацией ионов водорода в растворе: чем больше концентрация ионов водорода, тем ниже pH.

В чистой воде и в нейтральных растворах значение pH равно 7. Из-за малых примесей растворенного углекислого газа в дистиллированной воде pH может колебаться от 5,5 до 7. Нейтральной считают среду с диапазоном pH от 6 до 8. Чем меньше pH, тем среда более кислая. В 1 М растворах сильных кислот pH примерно равен 0. Чем больше pH, тем среда более щелочная. В 1 М растворах щелочей pH около 14.

С помощью кислотно-основных индикаторов можно определить среду раствора (щелочная, кислая, нейтральная), а с помощью индикаторных смесей (универсальные индикаторы) можно оценить pH раствора. Это смеси нескольких индикаторов, каждый из которых меняет цвет один раз. Так как разные индикаторы меняют цвет при разных pH, то можно подобрать состав смеси таким образом, чтобы она имела несколько цветовых переходов и каждая окраска соотносилась с определенным pH.

pH раствора можно измерить при помощи прибора. Его принцип действия состоит в том, чтобы измерить разность потенциалов между индикаторным электродом, потенциал которого зависит от концентрации ионов водорода, и электродом сравнения с постоянным потенциалом.

pH раствора можно рассчитать как отрицательный десятичный логарифм концентрации ионов водорода в растворе:

$$pH = -\lg C(H^+).$$

#### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Промыть датчик и дистиллированной водой сполоснуть нижнюю часть датчика pH, далее осушить фильтровальной бумагой.
2. Подключить датчик лаборатории «Химия» к компьютеру или ноутбуку в соответствии с руководством пользователя ПО «Цифровая лаборатория». Запустить программу измерений.
3. Подключить датчик pH.
4. В химический стакан налить 25 мл соляной кислоты и погрузить электрод в раствор на 3 см.
5. Нажать на «Пуск» и в течение нескольких секунд подождать установления показаний. Нажать на «Паузу».
6. Внести показания в таблицу 1.

#### ■ ВОПРОСЫ



Таблица 1

## Результаты измерений

Исследуемый раствор	Значение $pH$	Цвет индикатора	
		Индикатор фенолфталеин	Индикатор метилоранж
$HCl$			
$CH_3COOH$			
$NaOH$			
$NH_3$			
Водопроводная вода			

7. Вытащить из стакана электрод и промыть дистиллированной водой, сполоснуть его, далее высушить фильтровальной бумагой.

8. Отлить по 1-2 мл раствора кислоты в две пробирки и добавить в одну из них несколько капель фенолфталеина, а во вторую – метилоранжа. Проследить за изменением цвета, вписать данные наблюдения в таблицу 1 в графу «Цвет индикатора».

9. Повторить пп. 3-6 для других растворов.

#### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как определить  $pH$  растворов?
2. С концентрацией каких ионов связан  $pH$ ?
3. Среду с каким диапазоном  $pH$  считают щелочной, нейтральной, кислой?
4. Каков принцип действия  $pH$ -метра (датчика  $pH$ )?

#### ■ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

В данной лабораторной работе разрешено использовать вместо соляной, уксусной кислот, гидроксида натрия другие 0,1 М растворы сильной кислоты, слабой кислоты и сильного основания соответственно. Раствор аммиака заменять не рекомендуется. Можно использовать также другие кислотно-основные индикаторы.

По возможности можно добавить оценку  $pH$  по универсальному индикатору (например, РКС) и сравнение полученной приблизительной величины  $pH$  с численными данными датчика.

Таблица 2

## Примерные результаты

Исследуемый раствор	Значение $pH$	Цвет индикатора	
		Индикатор фенолфталеин	Индикатор метилоранж
$HCl$	1	бесцветный	красный
$CH_3COOH$	3	бесцветный	красный
$NaOH$	13	малиновый	желтый
$NH_3$	11	малиновый	желтый
Водопроводная вода	7	бесцветный	желтый

Отметим, что при увеличении значений  $pH$  в соляной кислоте  $HCl$ , уксусной кислоте  $CH_3COOH$ , воде, аммиаке  $NH_3$ , гидроксида натрия  $NaOH$  – кислотность уменьшается.

$pH$  водопроводной воды зависит от ее источника: от того, с какими породами – кислыми или щелочными – контактирует водоем.

С помощью фенолфталеина кислую среду от нейтральной отличить

нельзя. Щелочную от нейтральной – можно.

Используя метилоранж, кислую от нейтральной отличить можно. Щелочную от нейтральной – нельзя.

Изменение окраски метилоранжа и фенолфталеина происходит при значении  $pH$ :

- Метилоранж: между 3 и 7 (реально 3,1-4,0).
- Фенолфталеин – между 7 и 11 (реально 8,2-10,0).

У растворов  $HCl$ ,  $CH_3COOH$  – кислая среда, вода – нейтральная среда,  $NH_3$ ,  $NaOH$  – щелочная среда.

#### ■ ВОПРОСЫ

1. Запишите проанализированные в данной лабораторной работе вещества в порядке роста уровня  $pH$ .

2. А также расскажите, возможно ли с помощью метилоранжа и фенолфталеина определить состояние кислотности, щелочности исследуемого раствора, покажут ли данные индикаторы нейтральную среду в растворе?

3. Назовите основные причины разницы  $pH$  между дистиллированной и водопроводной водой.



## Лабораторная работа № 15

## ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИИ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ НА ПРИМЕРЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГИДРОКСИДА НАТРИЯ С СОЛЯНОЙ КИСЛОТОЙ

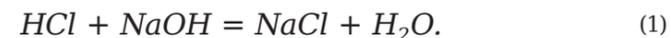
*Оборудование:* датчик *pH*; бюретка; химический стакан объемом 50 мл; лабораторный штатив; магнитная мешалка; раствор фенолфталеина; 0,1 М раствор гидроксида натрия *NaOH*; 0,1 М раствор соляной кислоты *HCl*.

*Цель:* изучить реакцию нейтрализации.

### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Реакция нейтрализации – это обменное взаимодействие кислоты и основания, в результате которого образуются вода и соль.

К примеру, реакция между соляной кислотой *HCl* и гидроксидом натрия *NaOH*:



Образующаяся при взаимодействии соль – хлорид натрия. Реакция нейтрализации не имеет внешних признаков, кроме выделения тепла, которое плохо заметно. Однако ее можно наблюдать, если вначале к раствору кислоты или основания добавить несколько капель кислотно-основного индикатора – вещества, обратимо реагирующего с основаниями или кислотами с появлением окраски.

Кроме того, за протеканием реакции нейтрализации можно следить по изменению *pH* раствора. Водородный показатель (*pH*) связан с концентрацией ионов водорода в растворе: чем больше концентрация ионов водорода, тем ниже *pH*. Нейтральной считают среду с диапазоном *pH* 6-8. Чем меньше *pH*, тем кислее среда. В 1 М растворах сильных кислот *pH* равен 0. Чем больше *pH*, тем щелочнее среда. В 1 М растворах 14 щелочей *pH*.

### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Промыть датчик дистиллированной водой, сполоснуть нижнюю часть датчика *pH*, далее осушить его фильтровальной бумагой.
2. Подключить датчик лаборатории «Химия» к компьютеру или ноутбуку в соответствии с руководством пользователя ПО «Цифровая лаборатория». Запустить программу измерений.
3. Подключить датчик *pH*.
4. В химический стакан налить 25 мл 0,1 М раствора соляной кислоты и добавить 3 капли раствора фенолфталеина.
5. Стакан поместить на магнитную мешалку, опустить в него магнитный якорь. Датчик *pH* закрепить с помощью штатива таким образом, чтобы его чувствительная часть находилась в растворе и не касалась стенок стакана и магнитного якоря.

6. Наполнить бюретку 0,1 М раствором гидроксида натрия, закрепить ее в штативе носиком в стакан. Включить магнитную мешалку. В течение нескольких секунд подождать установления показаний *pH*.

7. Добавить по несколько капель 0,1 М раствора гидроксида натрия *NaOH*. Отметить изменение окраски раствора в стакане (до розовой), записать израсходованный объем раствора гидроксида натрия *NaOH* (по делениям бюретки).

8. Добавить гидроксид натрия *NaOH*, пока показания *pH* не станут постоянными. Нажать на «Паузу» и закрыть кран бюретки.

9. Вынуть из стакана электрод, с помощью промывалки ополоснуть его дистиллированной водой, затем высушить фильтровальной бумагой.

10. Построить график зависимости *pH* от времени при прохождении реакции нейтрализации.

### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что представляет собой реакция нейтрализации? Приведите примеры реакций нейтрализации.
2. Перечислите признаки реакции нейтрализации?
3. Что такое кислотно-основной индикатор и зачем он нужен? Приведите примеры кислотно-основных индикаторов.
4. Что такое *pH*? Как зависит его значение от кислотности среды?

### ■ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

В данной лабораторной работе разрешено использовать вместо соляной кислоты любую сильную кислоту. Это может быть азотная или серная. Но в таком случае следует учитывать, что на нейтрализацию такого же количества кислоты идет вдвое больше щелочи. Вместо гидроксида натрия можно использовать гидроксид калия. Концентрации можно варьировать от 0,001 М до 1 М. При работе со слабой группой обучающихся важно, чтобы концентрации были одинаковы: так наглядно показывается равенство количества прореагировавших кислоты и основания в момент нейтрализации.

Для сильной группы предпочтительно организовать опыты, как и почему меняется вид зависимости *pH* от времени от концентрации кислоты и основания.

- С уменьшением концентраций уменьшается величина скачка по вертикали, так как кислотность исходного раствора меньше (*pH* выше), а в конечном растворе концентрация щелочи меньше (*pH* ниже).

- Изменение концентрации одного из реагентов при постоянной концентрации другого также сдвигает скачок по оси абсцисс, поскольку меняются объемные соотношения в момент нейтрализации.

Помимо фенолфталеина разрешено использовать другие кислотно-основные индикаторы с *pH* перехода 3-10: метилоранж, лакмус и т. д. Фенолфталеин предпочтителен тем, что изменение окраски с бесцветной на розовую четко заметно.

В растворе кислоты фенолфталеин бесцветен, в растворе щелочи розовый (при большой концентрации индикатора – малиновый).

Окраска фенолфталеина меняется, когда избыток кислоты в растворе сменяется избытком щелочи.

Распечатайте или постройте в таблице Excel график зависимости *pH* от времени.

- На какие участки можно его разбить?
- Чему соответствуют эти участки?
- Объясните значения *pH* на указанных участках.

График можно разбить на три участка, как это показано на рисунке 1.

На участке *AB* в растворе присутствует избыток кислоты, потому что добавлено недостаточно щелочи для нейтрализации; *pH* на этом участке соответствует кислой среде.

На участке *CD* в растворе избыток щелочи, *pH* соответствует щелочной среде.

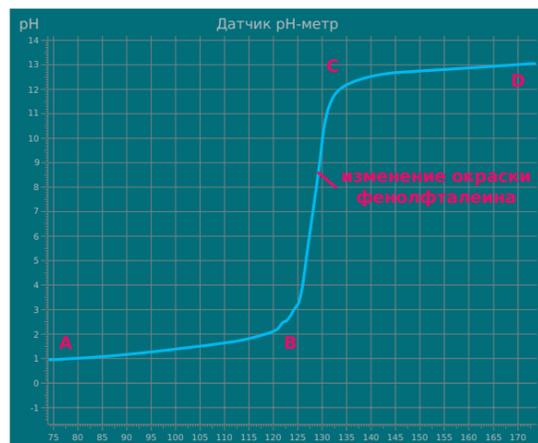


Рисунок 1.  
График зависимости  $pH$  от времени при добавлении щелочи к кислоте

На участке  $BC$  происходит скачок  $pH$ , середина данного участка соответствует моменту нейтрализации, когда кислота полностью прореагировала с щелочью и избытка щелочи еще нет.

На рисунке 1 момент изменения окраски фенолфталеина соответствует нейтрализации (кислота и щелочь прореагировали в стехиометрических количествах).

Объем раствора гидроксида натрия  $NaOH$  – 25 мл. В реальности это число может немного отличаться за счет погрешности измерений, особенно при быстром добавлении щелочи. Количество обоих реагентов, прореагировавших к моменту нейтрализации:

$$v = 0,025 \text{ л} \cdot 0,1 \text{ моль/л} = 0,0025 \text{ моль.}$$

При добавлении кислоты к щелочи  $pH$  будет в начале высоким, а в конце низким.

## ■ ВОПРОСЫ

1. Расскажите, какой цвет приобретает в растворе фенолфталеин при взаимодействии с щелочной и кислой средой. А также поясните, при каких условиях данный индикатор меняет свой основной цвет?
2. Изобразите на графике цветовых колебаний изменения цвета индикатора фенолфталеина.
3. Рассчитайте, каким должен быть объем 0,1 М гидроксида натрия  $NaOH$  для нейтрализации 25 мл 0,1 М соляной кислоты  $HCl$ .

## Лабораторная работа № 16

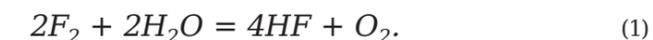
### ИЗУЧЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГАЛОГЕНОВ

**Оборудование:** кювета для датчика оптической плотности; дистиллированная и бромная вода; фильтровальная бумага; плоскодонная или коническая колба 25 мл с пробкой; 1 М раствор серной кислоты  $H_2SO_4$ ; 1 М раствор гидроксида натрия  $NaOH$ ; датчик оптической плотности.

**Цель:** проанализировать сдвиг равновесия реакции фтора с водой.

## ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Фтор реагирует с водой, при этом он ее окисляет:

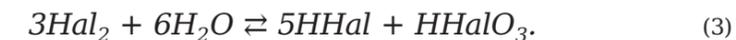


Другие галогены, такие как йод, хлор и бром, – не сильные окислители и они не могут вытеснить кислород из воды. Но в небольшом количестве они растворяются в воде: при 25 °С растворимость хлора составляет 0,1 моль/л, йода – 0,0014 моль/л, брома – 0,2 моль/л.

При растворении галогены вступают в обратимую реакцию диспропорционирования (реакция с повышением и понижением степени окисления одного и того же элемента):



или, при нагревании:



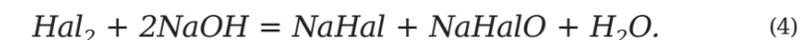
Представленные выше реакции протекают в небольшой степени. К примеру, при 25 °С в бrome реагирует только 1 молекула из 42 000.

Константы равновесия реакции (2) при 25 °С:

- для  $Cl_2$  3,9-10<sup>-4</sup>;
- для  $Br_2$  7,2-10<sup>-9</sup>;
- для  $I_2$  2-Ю-13.

Подтверждением описываемого является тот факт, что водные растворы галогенов (йодная вода, бромная вода и хлорная вода) окрашены, тогда как кислоты, являющиеся продуктами реакций (2) и (3), бесцветны.

Желто-коричневая окраска йодной воды обусловливается поляризацией молекул йода в водном окружении. Если к растворам галогенов добавлять щелочь, то она будет нейтрализовать кислоты, являющиеся продуктами реакций (2) и (3), с образованием их солей. Таким образом, кислоты уйдут из реакционной среды, и реакция станет необратимой:



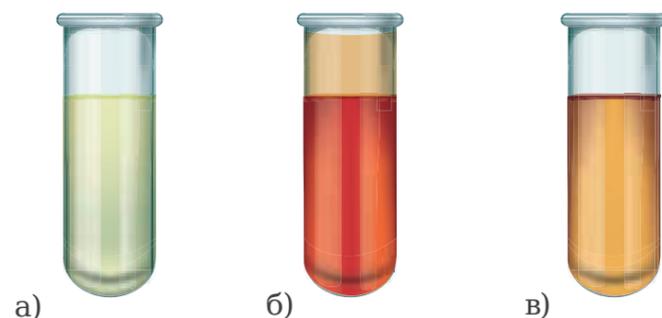
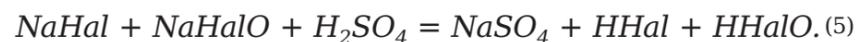


Рисунок 1.  
Водные растворы галогенов:  
а) хлорная вода, б) бромная вода, в) йодная вода

Если к смеси образовавшихся солей добавить сильную кислоту, то кислоты высвободятся:



В результате снова установится равновесие, и в реакции появятся молекулярные галогены.

Бромная вода сохранит красный оттенок брома, а хлорная вода сохранит желто-зеленый цвет хлора.

Добавление щелочи применяют с целью увеличения срока хранения растворов галогенов. Хлорная, йодная и бромная вода при хранении могут терять растворенный галоген. Соли нелетучи, поэтому могут долго существовать в растворенном состоянии. Если нужно воспользоваться йодной, хлорной или бромной водой, то к раствору солей добавляют кислоту.

#### ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подключить датчик оптической плотности к планшету или компьютеру. Запустить программу «Цифровая лаборатория».
2. С целью калибровки датчика необходимо налить дистиллированную воду в кювету и опустить ее в датчик оптической плотности. Нажать на «Пуск». По истечении 2-3 секунд нажать на кнопку «Сбросить» и подождать установления нулевого значения (процесс калибровки занимает 5-15 секунд). После калибровки нажать на «Паузу».
3. В колбу налить 10 мл бромной воды. Некоторую часть бромной воды налить в кювету и поместить ее в датчик оптической плотности. Закрыть колбу пробкой.
4. Нажать на «Пуск», подождать установления показаний и зафиксировать значение оптической плотности. Далее нажать на «Паузу».
5. Вылить раствор из кюветы, промыть ее водой и просушить фильтровальной бумагой.
6. К бромной воде в колбу налить равный объем 1 М раствора гидроксида натрия  $NaOH$ . Некоторую часть полученного раствора налить в кювету и поместить ее в датчик оптической плотности. Закрыть колбу.
7. Нажать на «Пуск», подождать установления показаний и зафиксировать значение оптической плотности. Далее нажать на «Паузу». Вылить раствор из кюветы, промыть ее водой и просушить фильтровальной бумагой.
8. К раствору в колбе налить равный объем 1 М раствора серной кислоты  $H_2SO_4$ . Часть раствора вылить в кювету и поместить ее в датчик оптической плотности. Закрыть колбу.
9. Нажать на «Пуск», подождать установления показаний и зафиксировать значение оптической плотности. Далее нажать на «Паузу». Вылить раствор из кюветы, промыть ее водой и просушить фильтровальной бумагой.



#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как фтор реагирует с водой?
2. Почему другие галогены не могут реагировать с водой подобно фтору?
3. Как растворяется хлор, бром и йод в воде?
4. Как и почему добавление раствора щелочи влияет на срок хранения растворов галогенов?
5. Что такое диспропорционирование?
6. Как глубоко протекает диспропорционирование галогенов в воде?

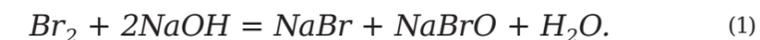
#### ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

##### СВОЙСТВА БРОМНОЙ ВОДЫ

При проведении данной лабораторной работы необходимо организовать хорошее проветривание учебного помещения. Целесообразно применять свежую бромную воду. Чтобы ее приготовить, необходимо добавить каплю жидкого брома в пробирку с водой или в стаканчик с небольшим количеством воды.

Процесс смешивания рекомендуется проводить в вытяжном шкафу. Растворение протекает постепенно. Для ускорения можно перемешивать содержимое пробирки стеклянной палочкой.

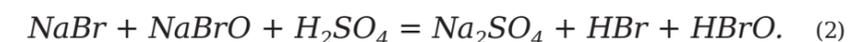
При добавлении щелочи к бромной воде окраска исчезает (или бледнеет), так как окрашенный бром полностью (или в большой степени, если взят недостаток щелочи) превращается в бесцветные соли:



Если бромную воду, оставшуюся после проведения эксперимента, предполагается использовать для других целей в течение нескольких дней, ее следует перелить в хорошо закрывающуюся банку и хранить в вытяжном шкафу.

В процессе эксперимента, при добавлении кислоты к полученному раствору, вновь появляется (или усиливается) окраска, оптическая плотность растет.

При добавлении кислоты к раствору окраска усиливается, поскольку в реакционной среде снова появляется окрашенная молекулярная форма брома:



В качестве альтернативы бромной воде можно использовать йодную воду. Данное вещество менее летучее. Его использование предпочтительно при плохом проветривании. Для разнообразия, одним обучающимся можно дать бромную воду, а другим – йодную. Работать с хлорной водой нежелательно из-за повышенной опасности высокой летучести хлора, сложности получения хлорной воды.

Чтобы получить йодный раствор, необходимо 0,03 г твердого йода опустить в маленький стаканчик с 10 мл воды и нагреть при перемешивании. Охладив, нерастворившийся йод отфильтровать либо аккуратно слить раствор с остатков йода.

При отсутствии твердого йода можно воспользоваться аптечной настойкой йода, разбавив ее в несколько раз (окраска должна быть слабой, чтобы датчик оптической плотности не зашкаливал).

Важно, что при разбавлении настойки уменьшаются концентрации ее компонентов – спирта и йодид калия  $KI$ , – что приводит к уменьшению растворимости йода, и он может выпасть в осадок; твердый йод следует отделить.

#### ВОПРОСЫ

1. Объясните, характер химической реакции и возможные изменения, если к предварительно подготовленной бромной воде добавить щелочь, какими будут колебания значений на измерительном датчике?
2. Дайте развернутый ответ по реакции, которая протекает в бромной воде при добавлении в ее состав кислоты.



## Лабораторная работа № 17

## ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЛОТРОПНЫХ МОДИФИКАЦИЙ СЕРЫ

*Оборудование:* беспроводной датчик по химическому мониторингу; лабораторный штатив с держателем; датчик температуры; сера S; плитка; фарфоровая чашка.

*Цель:* наблюдение за плавлением и кристаллизацией серы, определение температуры фазовых переходов.

### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Сера имеет несколько аллотропных модификаций (аллотропия – существование двух и более простых веществ одного и того же химического элемента). Самая устойчивая из них – ромбическая, ее температура плавления – 113 °С. В интервале 95–119 °С существует моноклиная сера, которая менее устойчивая. Она состоит из таких же молекул S<sub>8</sub>, что и ромбическая сера, но эти молекулы упакованы другим образом. Кристаллы ромбической серы ромбовидные, а моноклиной – игольчатые, полупрозрачные (см. рисунок 1).

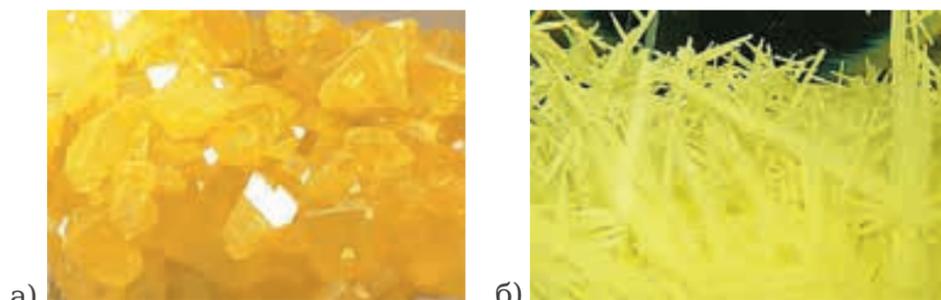


Рисунок 1.  
Кристаллы ромбической (а) и моноклиной (б) серы

Моноклиную серу можно получить при медленном охлаждении расплава серы или из горячего раствора серы в ксилоле. Ниже 95 °С она переходит в ромбическую серу – длинные игольчатые кристаллы тускнеют и рассыпаются.

### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. В фарфоровую чашку поместить 8-10 г серы и поставить на плитку.
2. Подключить датчик лаборатории «Химия» к компьютеру или ноутбуку в соответствии с руководством пользователя ПО «Цифровая лаборатория». Запустить программу измерений.
3. Подключить к мультидатчику щуп датчика температуры.
4. Опустить температурный щуп датчика в середину массы серы таким образом, чтобы он не касался дна чашки. Начать нагревание и нажать на «Пуск».
5. Пронаблюдать за плавлением серы. Отметить температуру плавления по показаниям датчика. Через 10–20 секунд после окончания плавления нажать на «Паузу».

### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

### ■ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

6. Завершить нагревание и снять чашку с плитки. Снова опустить в середину расплавленной серы датчик температуры. Нажать на «Пуск». Проследить за изменением температуры. Пронаблюдать фазовые переходы серы, отметить значения температур.

7. При достижении температуры 80 °С в процессе нагревания прекратить измерения и нажать на «Паузу».

8. Нарисовать график и определить температуру фазовых переходов серы.

1. Из каких молекул состоит сера?
2. Какая аллотропная модификация серы самая устойчивая?
3. Опишите строение и внешний вид моноклиной и ромбической серы.
4. Как получить моноклиную серу? В каком температурном интервале она существует?

В данной лабораторной работе планируется проанализировать показатели температур при плавлении и кристаллизации серы.

Если охлаждение протекает быстро, возможно занижение температуры кристаллизации. Связано это с тем, что кристаллическая решетка не успевает формироваться, и какое-то время существует переохлажденная жидкость.

Важно, что моноклиная сера образуется при охлаждении не всегда. Для этого охлаждение должно быть максимально плавным и аккуратным. Основная методика предполагает достаточно быстрое проведение работы, в этих условиях расплав серы может переохладиться вплоть до 113 °С, и далее сразу образуются кристаллы ромбической серы.

Чтобы гарантированно увидеть моноклиную серу, плитку рекомендуется не убирать, а просто выключить, тогда при ее постепенном остывании будет постепенно остывать и расплав. Но это займет гораздо больше времени.

По графику изменения температуры вещества от времени представляется возможным определить температуру плавления кристаллического вещества, температуру кристаллизации, температуру перехода из одной модификации в другую. Этим процессам соответствуют плато или перегибы на зависимости температуры от времени.

На рисунке 2 кристаллизации серы теоретически должно отвечать плато, а не перегиб. Почему в действительности четко выраженное плато отсутствует? Это происходит потому, что на самом деле состав расплава соответствует не индивидуальному веществу, а смеси. При сильном нагревании расплава кольцевые молекулы S<sub>8</sub> разрываются, на их концах возникают неспаренные электроны (визуально это выражается в потемнении расплава, так как радикалы хорошо поглощают свет). По этой причине сера начинает полимеризоваться (вязкость расплава возрастает по мере увеличения степени полимеризации). В результате в расплаве находятся молекулы разной длины.

Чтобы предотвратить такое, необходимо нагреть сразу после плавления (пока сера не начала темнеть). Начальная часть графика может оказаться слишком короткой, а потому плохо выраженной.

При быстром охлаждении плато, обозначенное точкой E, может отсутствовать. Температура кристаллизации в этом случае находится около 119 °С.

Переход не виден потому, что нагревание и полное разрушение кристаллической решетки протекает быстрее, чем кинетически затрудненный процесс ее перестраивания.

В начале плавления часть желтых кусочков, как показано на рисунке 3а, или желтого порошка серы оплывает, в фарфоровой чашке появляется желтая жидкость, как показано на рисунке 3б. По окончании плавления в чашке присутствует только прозрачная жидкость, как это показано на рисунке 3в.

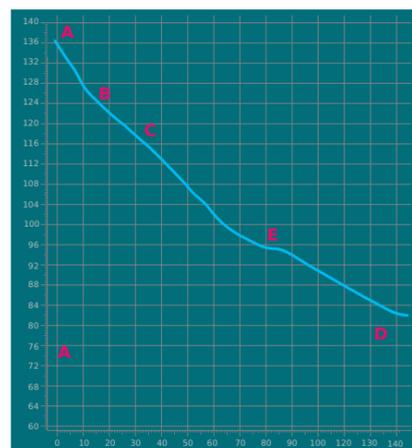


Рисунок 2.  
Изменение температуры при охлаждении серы  
(CB – слабо заметный перегиб, отвечающий затвердеванию моноклинной серы,  
E – плато, отвечающее переходу в ромбическую серу)

В начале кристаллизации поверхность расплава подергивается тонкой пленкой кристаллов, как это показано на рисунке 4а. В конце кристаллизации жидкость в чашке отсутствует, в наличии сплошная масса кристаллов, датчик невозможно извлечь без ее разрушения, как показано на рисунке 4б. На рисунке 4 изображена кристаллизация ромбической серы при 113 °С (без стадии образования моноклинной серы).



Рисунок 3.  
Плавление серы: а) твердая сера; б) плавление; в) расплав серы

В процессе затвердевания моноклинной серы при температуре 119 °С в чашке формируются прозрачные иглообразные кристаллы, как это показано на рисунке 5а. При переходе моноклинной серы в ромбическую при 95 °С сера мутнеет и становится более желтой, как это показано на рисунке 5б.

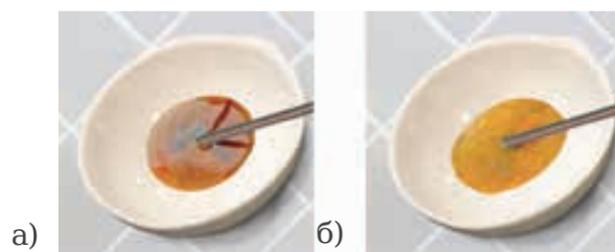


Рисунок 4.  
Кристаллизация серы:  
а) начало кристаллизации; б) окончание кристаллизации

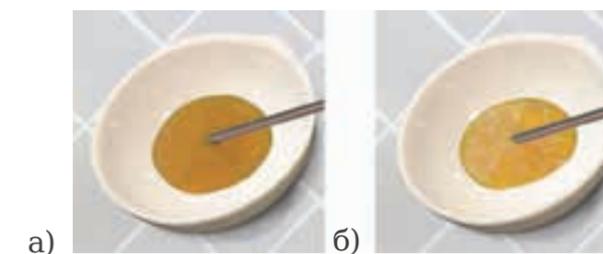


Рисунок 5.  
Образование моноклинной серы (а) и ее переход в ромбическую (б)

## ВОПРОСЫ

1. Дайте развернутый ответ относительно способов определения плавления кристаллического вещества, а также расскажите о температурных значениях, при которых данное вещество может переходить из одного агрегатного состояния в другое.
2. Исходя из данных графика охлаждения серы, обозначьте на нем значения, при котором сера может пребывать в твердом и жидком состоянии. А также перечислите причины, по которым сложно отследить переход серы в процессе нагревания из моноклинного к ромбическому состоянию.



## Лабораторная работа № 18

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛООВОГО ЭФФЕКТА ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ С ПОМОЩЬЮ КАЛОРИМЕТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

*Оборудование:* цифровой мультидатчик для химического мониторинга; датчик температуры; лабораторный штатив с 2 лапками; магнитная мешалка; теплоизолирующий стакан (калориметр) и крышка с 2 отверстиями; плитка; воронка; мерный стакан объемом 100 мл; лабораторные весы.

## ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Все химические реакции сопровождаются поглощением или выделением тепловой энергии. Реакции, идущие с выделением тепла, называются экзотермическими, а с поглощением тепла – эндотермическими. Количество выделенного или поглощенного тепла называется тепловым эффектом реакции.

Экспериментальное определение тепловых эффектов химических реакций проводят в специальных устройствах – калориметрах. Калориметр представляет собой сосуд, снабженный теплоизолирующей рубашкой для уменьшения теплообмена с окружающей средой. Простейший калориметр (см. рисунок 1) состоит из двух стаканов: наружного и внутреннего – собственно калориметра, установленного на теплоизолирующей



Рисунок 1.

Схема калориметрической установки для измерения теплоты растворения сульфата бария: 1 – крышка, 2 – температурный датчик, 3 – щуп датчика, 4 – стеклянная воронка, 5 – магнитная мешалка

подставке и снабженной крышкой с отверстиями для датчика температуры, воронки и мешалки. Чтобы свести потери тепла к минимуму, внутренний стакан не должен касаться стенок внешнего.

Количество теплоты, выделившейся или поглотившейся в ходе реакции, определяется по известной формуле:

$$Q = Q_k \cdot \Delta T, \quad (1)$$

где:

$Q$  – теплоемкость;

$Q_k$  – теплоемкость калориметра;

$\Delta T$  – изменение температуры в ходе реакции.

По физическому смыслу теплоемкость ( $Q$ ) калориметра есть количество теплоты, необходимое для нагрева всех его частей на один градус. Она складывается из теплоемкости воды, помещенной во внутренний стакан калориметра и теплоемкости внутреннего стакана калориметра.

$$Q = C_p \cdot m_p + C_{cm} \cdot m_{cm} \quad (2)$$

где:

$Q$  – теплоемкость;

$C_p$  – удельная теплоемкость раствора, помещенного в стакан;

$m_p$  – масса раствора;

$C_{cm}$  – удельная теплоемкость стакана;

$m_{cm}$  – масса стакана.

## ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Записать температуру пустого калориметра ( $T_1$ ).
2. В отдельный стакан набрать с помощью мерного цилиндра 100 мл нагретой до 50–60 °С воды и записать ( $T_2$ ). Быстро вылить нагретую воду во внутренний стакан калориметра. Постоянно перемешивая, через каждую минуту замерять температуру воды в калориметре и показания термометра заносить в таблицу.

Таблица 1

Результаты измерений

Время, мин	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T, °C											

В ходе измерений наблюдается три периода: 1) температура в калориметре быстро уменьшается (нагревается внутренний стакан калориметра); 2) температура стабилизируется (наступает тепловое равновесие); 3) температура медленно уменьшается (за счет рассеивания тепла). Для расчетов теплоемкости брать температуру второго периода, остающуюся постоянной в течение 2-3 мин.

В ходе измерений наблюдается три периода: 1) температура в калориметре быстро уменьшается (нагревается внутренний стакан калориметра); 2) температура стабилизируется (наступает тепловое равновесие); 3) температура медленно уменьшается (за счет рассеивания тепла). Для расчетов теплоемкости брать температуру второго периода, остающуюся постоянной в течение 2-3 мин. Эту температуру назовем равновесной и обозначим символом  $\Theta$  (от греч. «тета»).

Количество теплоты, сообщенное калориметру нагретой водой, определяется по уравнению:

$$Q = C_{H_2O} \cdot m_{H_2O} \cdot (T_2 - T_p), \quad (3)$$

где:

$Q$  – теплоемкость;  
 $C_{H_2O}$  – удельная теплоемкость воды;  
 $m_{H_2O}$  – масса воды;  
 $T_2$  – конечная температура;  
 $T_p$  – равновесная температура.

Количество теплоты, поглощенное калориметром, определяется (4) уравнению:

$$Q = Q_k(T_p - T_1),$$

где:

$Q$  – теплоемкость;  
 $Q_k$  – теплоемкость калориметра;  
 $T_p$  – равновесная температура;  
 $T_1$  – начальная температура.

Поскольку левые части уравнений равны, то приравниваем правые части и получаем формулу для расчета теплоемкости калориметра:

$$Q_k = \frac{C_{H_2O} \cdot m_{H_2O} \cdot (T_2 - T_p)}{T_2 - T_p} = \frac{4,18 \cdot 100 \cdot (T_2 - T_p)}{T_2 - T_p}.$$

Величина  $Q_k$  измеряется в Дж/град.

Приблизительное значение теплоемкости калориметра может быть вычислено по формуле (2) при следующих условиях и допущениях: 1) внутренний стакан калориметра взвешивается на лабораторных весах, рассчитанных на максимальную нагрузку до 500 г; 2) удельная теплоемкость стекла, из которого изготовлен стакан, принимается равной 0,75 Дж/(кг·К).

#### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое калориметр?
2. Что такое теплоемкость и от чего она зависит?
3. Что такое экзотермическая и эндотермическая реакции?
4. Влияет ли масса вещества на теплоемкость вещества?
5. Что такое удельная теплоемкость?



#### Лабораторная работа № 19

### СВОЙСТВА БЕЛКОВ

**Оборудование:** цифровой мультиметр для химического мониторинга; оксид меди (II)  $CuO$ ; 0,2 н раствор гидроксида натрия  $NaOH$ ; 2 н раствор соляной кислоты  $HCl$ ; водный раствор белка; концентрированный раствор гидроксида натрия  $NaOH$ ; кристаллический и 10%-ный раствор сульфата меди (II)  $CuSO_4$ ; 1%-ный раствор хлорида железа (III)  $FeCl_3$ ; 40%-ный раствор формальдегида  $CH_2O$ ; этанол  $C_2H_5OH$ ; 10%-ный раствор ацетата свинца  $Pb(C_2H_3O_2)_2$ ; белая шерсть; набор пробирок; спиртовка.

**Цели:** познакомиться с основными химическими свойствами белков; изучить качественные реакции на белок.

#### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Одним из важнейших классов веществ биологического происхождения являются белки, которые относятся к сложным полимерным веществам. Кожа, волосы, ногти, мускулы и соединительные ткани построены в основном из белков. Белки состоят из остатков аминокислот, которые содержат карбоксильную группу –  $COOH$ , и аминогруппу –  $NH_2$ . Общая формула аминокислот:  $R - HC(NH_2) - COOH$ . В качестве радикала в состав важнейших природных аминокислот входит около 20 различных групп. Благодаря этим различиям, аминокислоты сильно отличаются друг от друга по свойствам и могут образовывать белки самого разного состава. 12 из 20 аминокислот могут быть синтезированы человеческим организмом, а 8 других называют незаменимыми, и их человек получает с пищей, например, съедая яйца, хлеб, рис, молоко.

Молекулы аминокислот содержат как кислотные, так и основные группы. Поэтому в зависимости от  $pH$  среды аминокислоты могут существовать в различных формах.

Белки – это природные высокомолекулярные органические вещества, макромолекулы которых построены из огромного числа остатков  $\alpha$ -аминокислот, соединенных между собой амидными (пептидными) связями –  $CO - NH -$ . Последовательность чередования аминокислот в молекуле белка называют первичной структурой. Большинство белковых молекул имеют более сложные пространственные упаковки – вторичную, третичную и четвертичную структуры. Процесс разрушения пространственных структур называют денатурацией.

#### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

Опыт 1. Денатурация белков.

1. В четыре пробирки поместите по 0,5 мл раствора яичного белка.
2. Содержимое первой пробирки нагрейте до кипения, охладите и растворите в воде.
3. В остальные пробирки добавьте соответственно раствор формальдегида  $CH_2O$ , этанол  $C_2H_5OH$  и уксусную кислоту  $CH_3COOH$ .
4. Наблюдайте за изменениями. Результаты занесите в таблицу 1.

Опыт 2. Осаждение белка солями тяжелых металлов.

1. Возьмите пробирку и поместите в нее 1 мл раствора яичного белка.



## ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ДЛЯ 10 КЛАССА

### Лабораторная работа № 20

#### СВОЙСТВА ИЗОМЕРОВ

*Оборудование:* лабораторный штатив с лапкой; 3 стакана объемом 25–50 мл; песчаная баня; температурный датчик; по 15–20 мл бутилового ( $C_4H_9O$ ), изобутилового ( $C_4H_9O$ ), втор-бутилового ( $C_4H_{10}O$ ) и трет-бутилового спиртов ( $C_4H_{10}O$ ).

*Цель:* измерить и сравнить температуру кипения изомерных спиртов.

- Добавьте 1 каплю раствора сульфата меди (II)  $CuSO_4$ .
- Наблюдайте за изменениями. Результаты занесите в таблицу 1.

Опыт 3. Биуретовая реакция на белки.

- В пробирку поместите 1 мл раствора яичного белка, 1 мл раствора гидроксида натрия  $NaOH$  и 1–2 капли раствора сульфата меди  $CuSO_4$ .
- Изменение окраски свидетельствует о наличии в молекулах белка пептидных связей.
- Наблюдайте за изменениями. Результаты занесите в таблицу 1.

Опыт 4.

- В пробирку налейте 2 мл раствора глицина  $C_2H_5NO_2$ , добавьте 1 г порошка оксида меди (II)  $CuO$  и нагрейте до кипения.
- Наблюдается появление голубой окраски раствора. Чем это обусловлено? Каково при этом строение соли?
- Наблюдайте за изменениями. Результаты занесите в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты работы

Что делали	Что наблюдали	Выводы и уравнения реакций

#### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- Какие изменения происходят в структуре белка при нагревании? Меняется ли его первичная структура? Как называется процесс свертывания белков? Почему свернувшийся белок не растворяется в воде?
- Что наблюдаете при добавлении к белку спирта, формальдегида и кислоты?
- Что наблюдается в пробирке с раствором белка при добавлении в него раствора сульфата меди (II)  $CuSO_4$ ?
- Почему тяжелые металлы опасны для здоровья?
- Что произошло с раствором яичного белка при добавлении в него раствора гидроксида натрия  $NaOH$  и раствора сульфата меди  $CuSO_4$ ?
- Чем обусловлено появление голубой окраски раствора яичного белка при добавлении оксида меди (II)  $CuO$ ? Каково при этом строение соли?

#### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Температура кипения спирта возрастают с увеличением размера молекулы: к примеру, температура кипения метанола  $CH_3OH$  65 °С, а температура кипения этанола  $C_2H_5OH$  78 °С. Чем выше температура кипения, тем ниже летучесть, т. е. тем труднее вещество испаряется. Снижение летучести объясняется тем, что межмолекулярное взаимодействие растет с укрупнением молекул.

**Изомеры** – это вещества одинакового состава, но разного строения. Их физические и химические свойства различаются между собой. Температура кипения изомеров имеет разные значения, она зависит от строения молекул.

Летучесть спиртов нормального строения ниже, чем у спиртов разветвленного строения (к примеру, температура кипения бутанола-1 – 117,3 °С, а бутанола-2 – 99,5 °С). Это, в свою очередь, объясняется разной силой межмолекулярного взаимодействия.

#### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

- Подключить датчик цифровой лаборатории «Химия» к компьютеру или ноутбуку в соответствии с руководством пользователя ПО «Цифровая лаборатория». Запустить программу измерений.
- Подключить к мультидатчику щуп датчика температуры.
- В стакан налить 15–20 мл бутилового спирта (бутанола-1) и поместить его на песчаную баню.
- Закрепить датчик в лабораторном штативе с лапкой и опустить его в стакан так, чтобы кончик элемента был погружен более чем на 3 см, но при этом не касался стенок и дна стакана. Нажать на «Пуск».

Таблица 1

Результаты измерений температур кипения спиртов

Спирт	Температура кипения, °С
Бутанол-1	
Бутанол-2 (втор-бутиловый спирт)	
2-метилпропанол-1 (изобутиловый спирт)	
2-метилпропанол-2 (трет-бутиловый спирт)	



5. Нагреть песчаную баню, подождать, когда жидкость закипит. Нажать на «Паузу» и зафиксировать температуру кипения этилового спирта.

6. Повторить пп. 3-5 с втор-бутиловым спиртом (бутанолом-2)  $C_4H_9O$  с изобутиловым спиртом (2-метилпропанолом-1)  $C_4H_{10}O$ , с трет-бутиловым спиртом (2-метилпропанолом-2)  $C_4H_{10}O$ . Зафиксировать температуру кипения каждого вещества.

7. Результаты занести в таблицу 1.

#### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Изомеры – это ... Приведите примеры изомеров.
2. Опишите зависимость между температурой кипения и размером молекулы спирта.
3. Опишите зависимость между температурой кипения и строением молекул спирта при их одинаковом составе.

#### ■ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

В данной лабораторной работе предлагается проанализировать свойства изомеров. Для проведения эксперимента рационально использовать электрическую плиту. В противном случае опыт необходимо проводить под тягой и нагревать на песчаной бане.

Емкости разрешено заменять пробирками. Что позволит уменьшить количество используемого спирта. Но ширина пробирки должна быть достаточной для того, чтобы датчик входил в нее свободно.

При проведении демонстрационного эксперимента вместо бутиловых спиртов можно сравнить между собой два пропиловых:

- пропанол-1 и пропанол-2.

В варианте лабораторной работы имеет смысл дать каждой рабочей группе определить температуру кипения одного из бутиловых спиртов, а затем при обсуждении свести результаты в общую таблицу.

Отметим, что спирты легко воспламеняются. Если пламя соприкоснется с парами спирта, может начаться пожар.

А также помните, что существует зависимость температуры кипения одноатомных спиртов от разветвленности углеродной цепи в молекуле спирта. Температуры кипения разветвленных спиртов ниже, чем спиртов нормального строения.

Теоретические значения температур кипения представлены в таблице 2.

Таблица 2

Температуры кипения спиртов

Спирт	Температура кипения, °С
Бутанол-1	117,3
Бутанол-2 (втор-бутиловый спирт)	99,5
2-метилпропанол-1 (изобутиловый спирт)	108,4
2-метилпропанол-2 (трет-бутиловый спирт)	82,2
Пропанол-1	97,2
Пропанол-2 (изопропиловый спирт)	82,4

Если щуп датчика недостаточно погружен в жидкость, экспериментально измеренное значение температуры кипения может оказаться заниженным.

#### ■ ВОПРОСЫ

1. Какие инструменты нагрева допускается использовать при нагреве спирта? Обоснуйте свой ответ.
2. Проанализируйте и определите зависимость температурных значений кипения спиртов одноатомного типа от разветвленности углеродной цепи в молекуле спирта.

## Лабораторная работа № 21

### РАДИКАЛЬНОЕ БРОМИРОВАНИЕ АЛКАНОВ

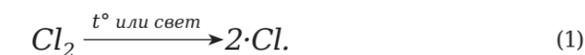
*Оборудование:* датчик оптической плотности; кювета для датчика оптической плотности; фильтровальная бумага; дистиллированная и бромная вода; изооктан  $C_8H_{18}$ ; гексан  $C_6H_{14}$  (можно заменить на октан, гептан, декан и др.); 2 пробирки с пробками.

*Цель:* сравнить скорости радикального бромирования алканов различного строения.

#### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

**Алканы** – это предельные углеводороды  $C_nH_{2n+2}$ . В их составе нет кратных связей, поэтому в реакции присоединения алканы вступать не могут, основной тип их реакций – это замещение. Поскольку алканы не содержат иных атомов, кроме углерода и водорода, то они являются практически неполярными веществами, и ионные реакции для них нехарактерны, преобладающий тип разрыва связей – радикальный. Итак, радикальное замещение является наиболее характерным типом реакций для алканов.

Примером радикального замещения является галогенирование. Когда молекуле хлора сообщают дополнительную энергию (нагревают или облучают ультрафиолетом), она распадается на 2 атома (свободных радикала):



При столкновении с молекулой алкана атом хлора отрывает от нее атом водорода, и образуется молекула  $HCl$ . Возникает новый свободный радикал с неспаренным электроном на атоме углерода:



Далее свободный радикал  $\cdot CH_3$  реагирует с другой молекулой хлора:

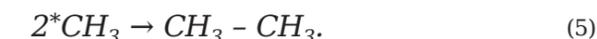


Вышеуказанные взаимодействия могут повторяться множество раз, образуя тем самым длинную цепь.

Если встречаются 2 радикала, то она может разорваться. К примеру:



Также могут объединиться 2 углеводородных свободных радикала:



Поэтому в продуктах радикальных реакций алканов всегда присутствуют примеси веществ с длинной углеродной цепью, чем у исходного алкана.



Суммарная реакция хлорирования метана представлена формулой:



Если взят избыток хлора, то реакция не закончится, а произойдет дальнейшее замещение атомов водорода на атомы хлора с образованием  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ,  $\text{CHCl}_3$ ,  $\text{CCl}_4$ .

При галогенировании более сложных углеводородов замещение может протекать по разным положениям. К примеру, при бромировании 2,3-диметилбутана (см. рисунок 1) бром может замещать атом водорода в  $\text{CH}_3$ -группе или атом водорода во фрагменте  $\text{CH}$ .

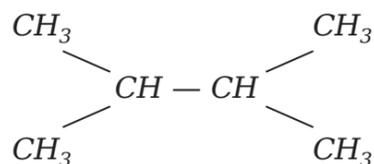


Рисунок 1.  
2,3-диметилбутан

При этом скорость замещения одного атома водорода бромом во фрагменте  $\text{CH}$  в 19 400 раз выше, чем в группе  $\text{CH}_3$  (а атома в  $\text{CH}_2$  - в 220 раз выше, чем в  $\text{CH}_3$ ). Это различие связано с разной устойчивостью промежуточных свободных радикалов. Отсюда следует, что скорость радикального бромирования углеводородов, содержащих третичные атомы углерода, выше, чем содержащих только вторичные и первичные атомы углерода.

#### ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подключить датчик оптической плотности к планшету или компьютеру. Запустить программу измерений.
2. Для калибровки датчика налить дистиллированную воду в кювету и опустить ее в датчик оптической плотности. Нажать на «Пуск». Через 3 секунды нажать на кнопку «Сбросить» и дождаться установления нулевого значения (калибровка занимает 5-15 секунд). После калибровки нажать на «Паузу».
3. Налить в пробирку 3 мл бромной воды. Добавить такое же количество гексана (декана, гептана, октана и др.). Закрыть пробирку пробкой. Нажать на «Пуск».
4. Взболтать содержимое пробирки, придерживая пробку. После расслаивания налить верхний слой в кювету и поместить ее в датчик оптической плотности.
5. Снимать график зависимости оптической плотности от времени не менее 5 минут. Нажать на «Паузу» и зафиксировать график.
6. Вылить раствор из кюветы, промыть ее дистиллированной водой и высушить фильтровальной бумагой.
7. Налить в другую пробирку 3 мл бромной воды. Добавить такое же количество изооктана. Закрыть пробирку пробкой.
8. Нажать на кнопку «Обновить», затем на «Пуск».
9. Повторить пп. 4-7.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Алканы - это ...
2. Почему для алканов характерны реакции радикального замещения?
3. Запишите суммарную реакцию бромирования метана и опишите ее стадии.
4. Изобразите основные продукты бромирования 2,3-диметилбутана при мольном соотношении реагентов один к одному.
5. Как меняется оптическая плотность с течением времени?

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

6. Изобразите формулы гексана и изооктана. Отметьте первичные, вторичные и третичные атомы углерода.
7. Смешивается ли бромная вода с гексаном и изооктаном?
8. Концентрации какого из веществ, участвующих в реакции, пропорциональна оптическая плотность?
9. Как сравнить скорости бромирования на основании полученных графиков?

В данной лабораторной работе целесообразно брать свежую бромную воду. Получить ее можно, добавив одну каплю жидкого брома в пробирку с водой или в стаканчик с небольшим количеством воды. Данная работа выполняется исключительно в вытяжном шкафу.

Растворение протекает постепенно, для ускорения можно перемешивать стеклянной палочкой.

Если она долго не понадобится, следует добавить щелочь до исчезновения окраски, после чего можно хранить ее в банке в обычном шкафу для реактивов либо вылить.

Если бромную воду, оставшуюся после проведения эксперимента, предполагается использовать для других целей в течение нескольких дней, ее следует перелить в хорошо закрывающуюся банку и хранить в вытяжном шкафу.

Для исследования можно использовать и другие жидкие алканы, не упомянутые в основной методике. Категорически нельзя использовать арены: они растворяют пластиковые кюветы.

Алканы легче воды, поэтому слой алкана, содержащий экстрагированный бром, находится сверху. Таким образом, в этом слое оба реагента присутствуют вместе. В нижнем слое находится вода с остатком растворенного брома, т. е. нижний слой не содержит второй реагент.

Отметим, что длина волны выбрана именно 465 нм потому - дополнительно к оранжевой окраске бромной воды.

На рисунке 1 показаны:

- первичные атомы углерода -  $f$ ;
- вторичные атомы углерода -  $s$ .

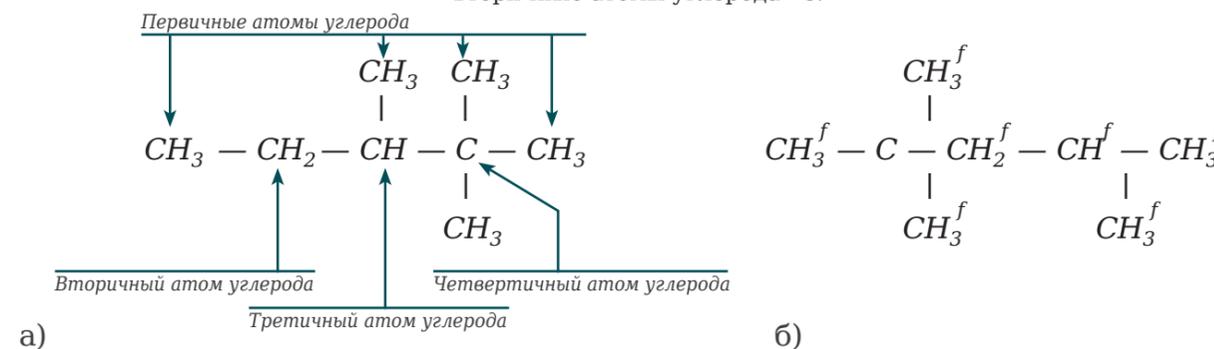


Рисунок 2.  
Структурные формулы: а) гексана, б) изооктана

Бромная вода не смешивается с алканами, так как алканы неполярны, а бром растворен в воде - полярном растворителе.

Верхний слой становится окрашенным (цвет красно-оранжевый), а окраска нижнего слоя, напротив, ослабляется. Это связано с тем, что неполярные молекулы брома переходят в неполярный растворитель - алкан.

Оптическая плотность пропорциональна концентрации единственного окрашенного вещества в этой системе - брома. Оптическая плотность уменьшается по мере расходования брома, как показано на рисунке 3.

Скорости можно сравнить по уменьшению оптической плотности (пропорциональной концентрации брома) за одинаковый промежуток времени от начала реакции.

Например, возьмем промежуток 300 с. За это время уменьшение оптической плотности для гексана составит  $0,91 - 0,76 = 0,15$ , а для изооктана -  $0,82 - 0,56 = 0,26$ . Таким образом, экспериментально определенная скорость бромирования изооктана выше в  $0,26/0,15 = 1,7$  раза.

Очевидно, что в других экспериментах можно получить другие численные данные. Неизменным остается то, что изооктан реагирует быстрее, и причина этого - наличие третичного атома углерода, при котором замещение атома углерода происходит с наибольшей скоростью благодаря высокой устойчивости промежуточного свободного радикала.

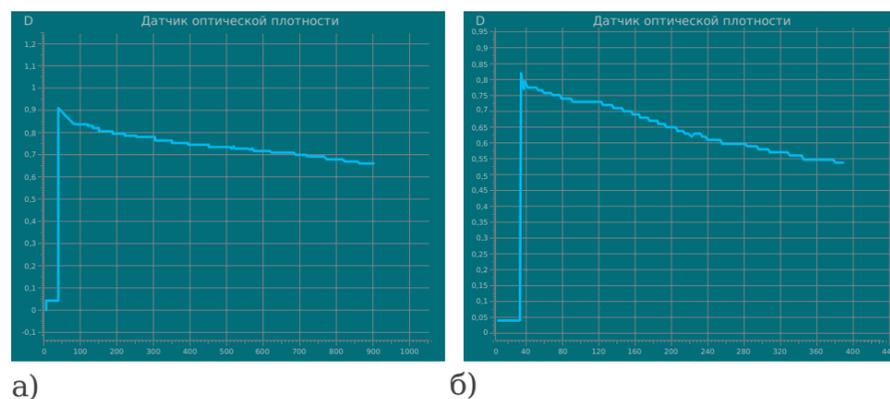


Рисунок 3.  
Графики зависимости оптической плотности от времени для реакции брома: а) с гексаном, б) с изооктаном

## ВОПРОСЫ

1. Подробно изложите, допускается ли смешивать бромную воду с гексаном, изооктаном. Меняется ли изначальный цвет приготовленного раствора и какова оптическая плотность конечного раствора?
2. Зачем для проведения опытов рекомендуется использовать длину волны, составляющую именно 465 нм?
3. Напишите структурные формулы изооктана и гексана, а также перечислите первичные, вторичные и третичные атомы углерода.
4. Представляется ли возможным сравнить скорость бромирования, учитывая значения графиков, которые представлены на рисунке 3? Обоснуйте свой ответ.



## Лабораторная работа № 22

### ИЗУЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ КИПЕНИЯ ОДНОАТОМНЫХ СПИРТОВ

*Оборудование:* лабораторный штатив с лапкой; три стакана объемом 25-50 мл; электроплитка с закрытой спиралью или песчаная баня; датчик температуры; по 15-20 мл этилового, пропилового и бутилового спиртов.

*Цель:* измерить и сравнить температуру кипения разных спиртов.

## ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

**Спирты** - это органические соединения, которые в составе содержат одну или несколько гидроксильных групп. Наиболее простыми представителями данного класса являются одноатомные спирты.

Растворимость в воде зависит от размера молекулы, чем она больше, тем спирт хуже растворяется в воде. К примеру, низшие спирты (до пропанола) смешиваются с водой в любых пропорциях, а высшие не растворяются в ней. Это связано с тем, что в низших спиртах велик относительный вклад группы *ОН* - полярной и образующей водородные связи. В молекулах же высших спиртов преобладает малополярный углеводородный радикал, не взаимодействующий с молекулами воды.

Температура кипения также возрастает с увеличением размера молекулы: например, температура кипения  $CH_3OH$  - 65 °С, а температура кипения  $C_2H_5OH$  - 78 °С. Чем выше температура кипения, тем ниже летучесть, т. е. тем труднее вещество испаряется. Снижение летучести объясняется тем, что межмолекулярное взаимодействие растет с укрупнением молекул.

Интересно, что температура кипения вещества зависит также от строения молекул при их одинаковом составе. Летучесть спиртов нормального строения ниже, чем у спиртов разветвленного строения (так, температура кипения бутанола-1 - 117,3 °С, а бутанола-2 - 99,5 °С). Это также объясняется разной силой межмолекулярного взаимодействия.

## ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подключить датчик лаборатории «Химия» к ноутбуку в соответствии с руководством пользователя ПО «Цифровая лаборатория». Запустить программу измерений.
2. Подключить к мультидатчику щуп датчика температуры.
3. В стакан налить 15-20 мл этилового спирта и поместить его на плитку.
4. Закрепить датчик в лабораторном штативе с лапкой и опустить его в стакан так, чтобы кончик элемента был погружен на 3 см и не касался ни стенок, ни дна стакана. Нажать кнопку «Пуск».
5. Нагреть плитку, подождать, когда раствор начнет кипеть. Нажать на «Паузу» и зафиксировать температуру кипения этилового спирта.
6. Повторить пп. 3-5 с пропиловым спиртом и с бутиловым спиртом.
7. Полученные результаты зафиксировать в таблице 1.



Таблица 1

Результаты измерений температур кипения спиртов

Спирт	Температура кипения, °C
Этанол	
Пропанол-1	
Бутанол-1	

#### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Спирты – это ...
2. Какое агрегатное состояние характерно для спиртов?
3. Какие спирты считаются одноатомными?
4. Какая зависимость между растворимостью в воде и размером молекулы спирта?
5. Какая зависимость между температурой кипения и размером молекулы спирта?

#### ■ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

В данной лабораторной работе проанализируем температуры кипения одноатомных спиртов. Эксперимент должен проводиться в проветриваемом помещении либо же под тягой, осуществляя нагрев веществ на песчаной бане.

Разрешено заменить стаканы пробирками, что позволит уменьшить объем используемого спирта. Вместе с тем ширина пробирки должна быть достаточной для того, чтобы датчик входил в нее свободно.

Теоретические значения температур кипения показаны в таблице 2.

Таблица 2

Температуры кипения спиртов

Спирт	Температура кипения, °C
Этанол	78,4
Пропанол-1	97,2
Бутанол-1	117,3

Если щуп датчика недостаточно погружен в жидкость, экспериментально измеренное значение температуры кипения может оказаться заниженным.

Стоит запомнить, что спирты легко воспламеняются. Если пламя соприкоснется с парами спирта, может начаться пожар.

Температура кипения одноатомных спиртов зависит от длины углеродной цепи в молекуле спирта. Таким образом, чем длиннее углеродная цепь, тем выше температура кипения.

Температуры кипения 2- и 3-атомных спиртов будут выше, чем у спиртов одноатомных. Обусловлено это тем, что увеличивается вклад полярных групп в молекуле, и таким образом увеличивается межмолекулярное взаимодействие.

#### ■ ВОПРОСЫ

1. Перечислите лабораторные инструменты, которые разрешено использовать для нагрева стаканов со спиртом.
2. Исходя из результатов лабораторной работы, проанализируйте, существует ли зависимость температур кипения у одноатомных спиртов от длины углеродистой цепи в данном веществе? Объясните, есть ли разница в температурах кипения спиртов 2- или 3-атомного типа, если сравнивать значения с одноатомными спиртами?

## Лабораторная работа № 23

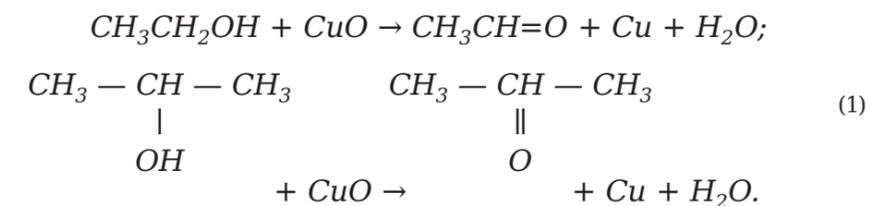
### ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ОДНОАТОМНЫХ СПИРТОВ

*Оборудование:* датчик оптической плотности; кювета для датчика оптической плотности; дистиллированная вода; раствор перманганата калия  $KMnO_4$ ; 20 % раствор серной кислоты  $H_2SO_4$ ; 4 мерные пипетки или шприца объемом 2 мл; аптечная пипетка; бумага фильтровальная; этиловый, пропиловый и изопропиловый спирт.

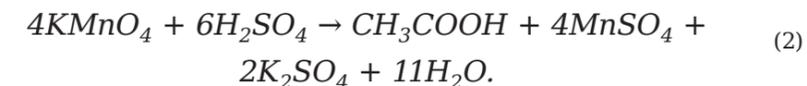
*Цель:* сравнить скорость окисления спиртов различного строения.

#### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

**Спирты** – производные углеводородов, в которых один или несколько атомов водорода заменены на функциональную группу  $-OH$ . Атом углерода, связанный с группой  $-OH$ , подвержен окислению.  $CuO$  окисляет спирты до альдегидов и кетонов:



Перманганат калия, как более сильный окислитель, переводит первичные спирты (имеющие  $OH$ -группу у концевго атома углерода) в кислоты:



Скорость окисления спиртов зависит от их строения. Окисление происходит легче, если выше электронная плотность в области связи  $C-O$ . Вторичные спирты (имеющие  $OH$ -группу при атомах углерода в середине цепи) окисляются легче первичных, так как к соответствующему атому углерода подается электронная плотность с двух сторон (от двух углеводородных радикалов). Среди первичных спиртов более легкое окисление характерно для спиртов с более длинным углеводородным радикалом.

#### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подключить датчик оптической плотности к планшету или компьютеру. Запустить программу измерений.
2. Для калибровки датчика нужно налить дистиллированную воду в кювету и опустить ее в датчик оптической плотности. Нажать на «Пуск». После 3 секунд нажать на кнопку «Сбросить» и подождать, пока установится нулевое значение (калибровка занимает 5–15 секунд). После калибровки нажать на «Паузу».
3. Налить в кювету с помощью мерной пипетки или шприца 2 мл



раствора перманганата калия  $KMnO_4$ . Добавить 5 капель раствора серной кислоты аптечной пипеткой.

- Поместить кювету в датчик и нажать на «Пуск».
- С помощью другой пипетки влить в кювету 1 мл этилового спирта  $C_2H_5OH$ .
- Пронаблюдать за графиком зависимости оптической плотности от времени, пока оптическая плотность не уменьшится в 5 раз. После чего нажать на «Паузу» и сохранить график.
- Вылить раствор из кюветы, вымыть ее дистиллированной водой и высушить фильтровальной бумагой.
- Нажать на кнопку «Обновить».
- Повторить пп. 2-7, взяв вместо этилового спирта  $C_2H_5OH$  пропиловый  $C_3H_7OH$  и изопропиловый  $C_3H_8O$ .

#### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- Спирты – это ... Охарактеризуйте первичные и вторичные спирты.
- До каких продуктов спирты окисляются оксидом меди (II)  $CuO$  и перманганатом калия  $KMnO_4$ ?
- От чего зависит скорость окисления спиртов?
- Изобразите формулу этилового, пропилового и изопропилового спиртов. Они являются первичными или вторичными спиртами?
- Концентрации какого из веществ, участвующих в реакции, пропорциональна оптическая плотность?
- Как меняется оптическая плотность с течением времени?
- Скорость окисления какого из изученных спиртов самая высокая и самая низкая?

#### ■ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

В данной лабораторной работе будет проанализирован процесс окисления спиртов. Гораздо более интересно изучать скорость окисления спиртов с более длинным углеводородным радикалом – бутилового, амилового и др. Но эти спирты имеют ограниченную растворимость в воде и плохо смешиваются с раствором перманганата. Что делает проведение такого опыта неоправданным.

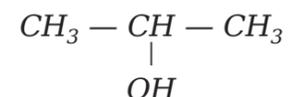
Раствор перманганата калия  $KMnO_4$  необходимо готовить заранее. Связано это с тем, что в хранящемся растворе накапливаются продукты восстановления перманганата, в частности, диоксид марганца  $MnO_2$ , придающий раствору мутность. Концентрация раствора подбирается индивидуально: окраска должна быть розовой, средней интенсивности.

Заранее убедитесь, чтобы оптическая плотность раствора находилась в области измерений и не была слишком низкой. Оптимальное значение оптической плотности исходного раствора перманганата калия  $KMnO_4$  находится между 1 и 1,8.

Для измерений выбрана длина волны именно 525 нм потому, что эта длина волны соответствует зеленому цвету – дополнительному к пурпурной окраске раствора перманганата.

Структурные формулы этилового, пропилового, изопропилового спиртов:

- Этиловый спирт (первичный)  $CH_3-CH_2-OH$ ;
- Пропиловый спирт (первичный)  $CH_3-CH_2-CH_2-OH$ ;



- Изопропиловый спирт (вторичный).

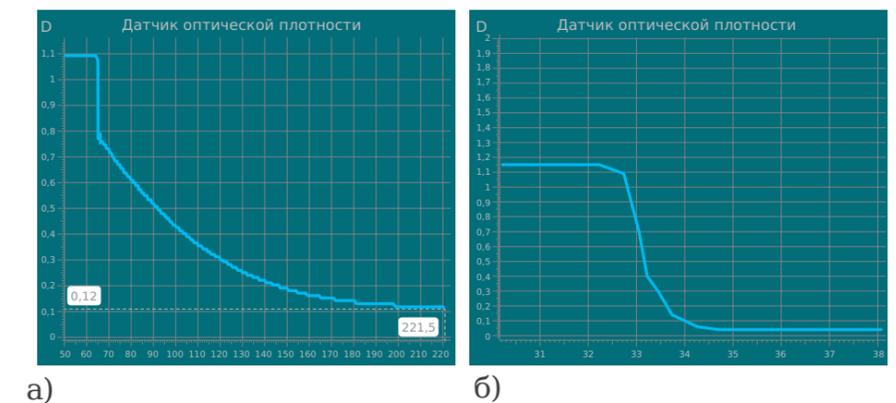
Оптическая плотность пропорциональна концентрации перманганата калия  $KMnO_4$ .

С течением времени оптическая плотность уменьшается, так как перманганат калия расходуется. В момент приливания спирта может наблюдаться скачкообразное понижение оптической плотности за счет разбавления раствора.

Самая низкая скорость окисления – у этилового спирта, как видно из рисунка 1а, этот спирт первичный и имеет самый маленький углеводородный радикал. Потому электронная плотность на связи  $C-O$  минимальна. В данном случае время, за которое оптическая плотность уменьшается в 5 раз, составляет 79 с.

Наиболее быстро окисляется изопропиловый спирт, как видно из рисунка 1б, так как он является вторичным, и подача электронной плотности на связь  $C-O$  происходит с двух сторон.

Для него время уменьшения оптической плотности в пять раз меньше – 4 с. Важно, что в других экспериментах измеренное время может отличаться (оно зависит в том числе от исходной концентрации перманганата). Однако итог сравнения одинаков: наибольшая скорость окисления у изопропилового спирта, затем следует пропиловый, и самая низкая скорость окисления у этилового спирта.



а)

б)

Рисунок 1.  
Графики зависимости оптической плотности от времени для окисления перманганатом калия этилового (а) и изопропилового (б) спиртов

#### ■ ВОПРОСЫ

- По итогам лабораторной работы повторите формулы этилового, изопропилового и пропилового спиртов. А также расскажите, являются ли они вторичными или первичными веществами?
- Проанализируйте процессы окисления спиртов, а также дайте ответ, какие из них окисляются быстрее и медленнее? Обоснуйте свой ответ.
- Какой концентрации пропорциональна оптическая плотность? Запишите свой ответ.





Карбоновые кислоты проявляют общие свойства, характерные для всех слабых неорганических кислот: изменяют окраску индикаторов; взаимодействуют с активными металлами с выделением водорода, с основными и амфотерными оксидами металлов, с основаниями с образованием соответствующих солей, с солями слабых кислот.

Для карбоновых кислот характерны также реакции нуклеофильного замещения: взаимодействие со спиртами с образованием сложных эфиров (реакция этерификации), аминами, другими карбоновыми кислотами, галогенирующими агентами (соединениями фосфора и серы).

Карбоновые кислоты являются конечными продуктами окисления спиртов и альдегидов и устойчивы к действию окислителей, за исключением муравьиной кислоты, которая окисляется благодаря наличию альдегидной группы и вступает в реакцию «серебряного зеркала». Восстановление карбоксильной группы может происходить в присутствии сильных восстановителей.

#### ■ ВОПРОС

С какими из указанных веществ способна реагировать уксусная кислота: магний, карбонат кальция, хлорид калия, гидроксид натрия, оксид цинка, углекислый газ, хлор?

### Лабораторная работа № 25

## ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПИРТОВ, ФЕНОЛОВ, АЛЬДЕГИДОВ

*Оборудование:* спиртовка; спички; медная проволока; этиловый спирт ( $C_2H_5OH$ ); глицерин ( $C_3H_8O_3$ ); фенол ( $C_6H_6O$ ); метаналь ( $CH_2O$ ); сульфат меди ( $CuSO_4$ ); хлорид железа (III) ( $FeCl_3$ ); гидроксид натрия ( $NaOH$ ); пробирки.

*Цель:* повторить строение и свойства кислородосодержащих органических веществ: спиртов, фенолов и альдегидов; научиться проводить качественные реакции на спирты, фенолы и альдегиды.

#### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Спирты и фенолы являются гидроксильными производными, содержащими гидроксильную группу  $OH$ . Атомы водорода гидроксильных групп в спиртах проявляют определенную подвижность. Подобно воде, спирты реагируют со щелочными металлами, которые замещают водород гидроксильных групп с образованием алкоголятов (фенолятов). В реакции со щелочными металлами спирты в известной мере проявляют кислотные свойства, но в меньшей мере, чем вода. Практически спирты представляют собой нейтральные вещества: они не дают ни кислоты, ни щелочной реакции на лакмус, не проводят электрический ток. Кислотные свойства фенолов выражены в большей степени, чем у спиртов. Под влиянием бензольного кольца водород гидроксила в фенолах более подвижен, чем в спиртах, и они обладают большими, чем спирты, кислотными свойствами (поэтому простейший фенол и был назван карболовой кислотой).

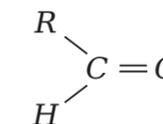
Общая формула одноатомных спиртов



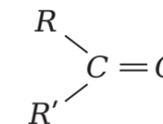
Фенолы - вещества, содержащие радикал фенил



Для альдегидов



и кетонов



характерно присутствие в молекуле функциональной карбонильной группы  $C=O$ . Альдегиды легко окисляются. Действие окислителей в молекулах альдегидов направлено на водород, стоящий у карбонильной группы. В молекулах кетонов при карбонильной группе водорода нет, поэтому они не окисляются слабыми окислителями средней силы.



### ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

Качественные реакции на спирты.

Опыт 1. Окисление этилового спирта.

1. Прокалите в пламени спиртовки медную проволоку до образования на ее поверхности черного налета оксида меди (II)  $CuO$ .
2. Затем быстро опустите проволоку в пробирку с этиловым спиртом  $C_2H_5OH$ . Что наблюдаете? Какой ощущается запах?
3. Составьте уравнение реакции окисления этилового спирта.

Опыт 2. Получение глицерата меди (II)  $C_6H_{14}O_6Cu$  (качественная реакция на многоатомные спирты).

1. В пробирку налейте 1-2 мл сульфата меди  $CuSO_4$ .
2. Добавьте 10 % раствор гидроксида натрия ( $NaOH$ ) до образования гидроксида меди  $Cu(OH)_2$ .
3. К полученному осадку прибавьте немного глицерина  $C_3H_8O_3$  и перемешайте. Что наблюдаете? Напишите уравнение реакций. Какие свойства проявляет глицерин?

Опыт 3. Качественная реакция на фенол  $C_6H_6O$ .

1. В пробирку с фенолом добавьте 2-3 капли 2 % раствора хлорида железа (III)  $FeCl_3$ .
2. Какое проявляется окрашивание? Характерно ли такое окрашивание для спиртов?

Опыт 4. Окисление формальдегида (II)  $CH_2O$ .

1. Получите осадок гидроксида меди (II)  $Cu(OH)_2$ .
2. Добавьте метаноля  $CH_2O$ .
3. Нагрейте до появления красного осадка оксида меди (I)  $Cu_2O$ .

Результаты работы оформить в виде таблицы 1.

Таблица 1

Результаты работы

Что делали	Что наблюдали	Выводы и уравнения реакций

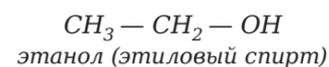
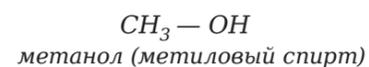
### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие вещества называются спиртами? Какое положение может занимать функциональная группа в спиртах?
2. Какие вещества называются альдегидами и кетонами? Какие окислительные свойства имеют альдегиды?
3. Составьте уравнения реакций по схеме:  
Пропан → пропен → 1 пропанол → пропаналь → пропионовая кислота.

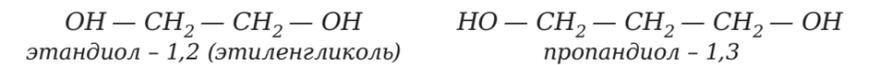
### ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

Спиртами (или алканолами) называются органические вещества, молекулы которых содержат одну или несколько гидроксильных групп (групп  $-OH$ ), соединенных с углеводородным радикалом.

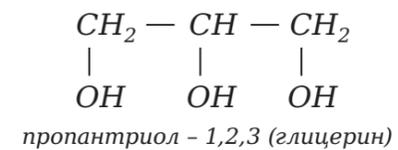
По числу гидроксильных групп (атомности) спирты делятся на:  
– одноатомные, например:



– двухатомные (гликоли), например:



– трехатомные, например:

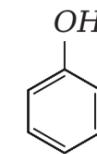


Фенолы. Гидроксильная группа в молекулах органических соединений может быть связана с ароматическим ядром непосредственно, а может быть отделена от него одним или несколькими атомами углерода. Можно ожидать, что в зависимости от этого свойства вещества будут существенно отличаться друг от друга из-за взаимного влияния групп атомов. И действительно, органические соединения, содержащие ароматический радикал фенил  $C_6H_5$ , непосредственно связанный с гидроксильной группой, проявляют особые свойства, отличные от свойств спиртов. Такие соединения называются фенолами.

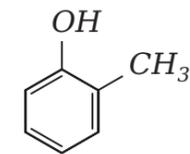
Фенолы – органические вещества, молекулы которых содержат радикал фенил, связанный с одной или несколькими гидроксогруппами.

Так же как и спирты, фенолы классифицируют по атомности, т. е. по количеству гидроксильных групп.

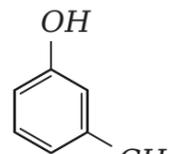
Одноатомные фенолы содержат в молекуле одну гидроксильную группу:



фенол  
(гидроксибензол)

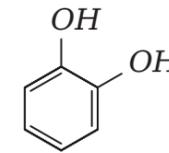


2-метилфенол  
(орто-крезол)

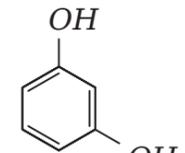


3-метилфенол  
(мета-крезол)

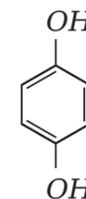
Многоатомные фенолы содержат в молекулах более одной гидроксильной группы:



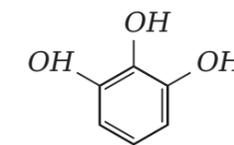
1,2-дигидроксибензол  
(орто-дигидроксибензол,  
пирокатехин)



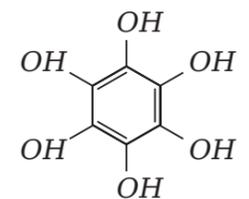
1,3-дигидроксибензол  
(мета-дигидроксибензол,  
резорцин)



1,4-дигидроксибензол  
(пара-дигидроксибензол,  
гидрохинон)



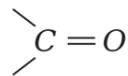
1,2,3-тригидроксибензол  
(пирогаллол)



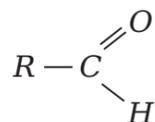
гексагидроксибензол

Существуют и другие многоатомные фенолы, содержащие три и более гидроксильные группы в бензольном кольце.

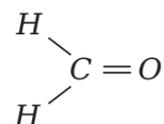
Альдегиды – органические вещества, молекулы которых содержат карбонильную группу, соединенную с атомом водорода и углеводородным радикалом.



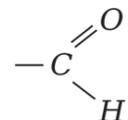
Общая формула альдегидов имеет вид:



В простейшем альдегиде – формальдегиде – роль углеводородного радикала играет второй атом водорода:

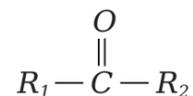


Карбонильную группу, связанную с атомом водорода, называют альдегидной:



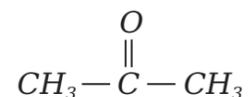
Органические вещества, в молекулах которых карбонильная группа связана с двумя углеводородными радикалами, называют кетонами.

Очевидно, общая формула кетонов имеет вид:



Карбонильную группу кетонов называют кетогруппой.

В простейшем кетоне – ацетоне – карбонильная группа связана с двумя метильными радикалами:



## ■ ВОПРОСЫ

1. Какие вещества называются спиртами? На какие группы они делятся?
2. Какие вещества называются фенолами? Как фенолы классифицируются по атомности?
3. Какие вещества называются альдегидами? Запишите общий вид формулы альдегидов.
4. Назовите вещество, относящееся к простейшей кетогруппе.



## Лабораторная работа № 26

### ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УГЛЕВОДОВ

*Оборудование:* глюкоза ( $C_6H_{12}O_6$ ); сахароза ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ); крахмальный клейстер; раствор йода (I); серная кислота ( $H_2SO_4$ ); медь (Cu); спиртовка; спички; раствор щелочи; пробирки.

*Цели:* повторить классификацию, строение и свойства углеводов; убедиться в том, что свойства определяются строением; научиться качественно распознавать глюкозу, крахмал.

## ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

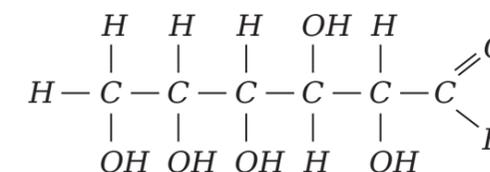
Углеводы широко распространены в природе и играют большую роль в биологических процессах живых организмов и человека. Название «углеводы» возникло в связи с тем, что химический состав большинства соединений этого класса выражается общей формулой  $C_n(H_2O)_2n$ .

Углеводы в зависимости от строения можно подразделить на моносахариды, дисахариды и полисахариды.

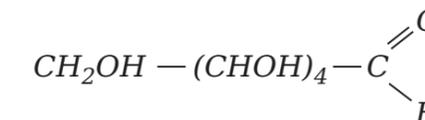
Важнейшие представители углеводов: глюкоза, сахароза, крахмал.

Глюкоза и сахароза имеют сладкий вкус, хорошо растворяются в воде. Крахмал не имеет сладкого вкуса, нерастворим в воде, однако в горячей воде он набухает и образует коллоидный раствор-клейстер.

Глюкоза по строению представляет собой пятиатомный альдегидоспирт:



Сокращенная формула



Сахароза гидролизуеться на глюкозу и фруктозу.

Крахмал – это природный полимер. Он легко гидролизуеться с образованием различных промежуточных продуктов (декстрины, мальтоза) до глюкозы.

## ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

I. Свойства глюкозы.

Опыт 1. Глюкоза – многоатомный спирт.

1. Получите при помощи реакции ионного обмена осадок гидроксида меди (II)  $Cu(OH)_2$ .
2. К 1-2 мл полученного осадка добавьте раствор глюкозы  $C_6H_{12}O_6$ .



3. Пробирку встряхните. Что произошло с осадком? Сделайте вывод о наличии гидроксильных групп в молекуле глюкозы.

Опыт 2. Свойства глюкозы как альдегида.

1. Осторожно нагрейте пробирку с глюкозой  $C_6H_{12}O_6$  и гидроксидом меди  $Cu(OH)_2$  (из предыдущего опыта) до образования кирпично-красного осадка.

2. Наличие какой функциональной группы мы доказали этим опытом? Составьте уравнения реакций и сделайте выводы о строении и свойствах глюкозы.

II. Свойства крахмала.

Опыт 1. Сахароза – многоатомный спирт.

1. В пробирку с небольшим количеством гидроксида меди (II)  $Cu(OH)_2$  добавьте раствор сахарозы  $C_{12}H_{22}O_{11}$ , встряхните.

2. Что произошло с осадком? О чем это свидетельствует?

Опыт 2. Гидролиз сахарозы.

1. В пробирку налейте 2–3 мл раствора сахарозы  $C_{12}H_{22}O_{11}$ .

2. Добавьте 1–2 капли раствора серной кислоты  $H_2SO_4$ .

3. Осторожно нагревайте в течение 2 минут, не доводя раствор до кипения. Для этого держите пробирку немного выше пламени спиртовки.

4. Нейтрализуйте кислоту в растворе: в присутствии лакмуса добавляйте по каплям раствор щелочи до изменения окраски индикатора.

5. Подтвердите наличие глюкозы в продуктах гидролиза сахарозы при помощи реакции с гидроксидом меди (II)  $Cu(OH)_2$ .

6. Сделайте вывод о строении сахарозы.

III. Свойства сахарозы.

Опыт 1. Гидролиз крахмала.

1. В пробирку поместить 2–3 мл крахмального клейстера.

2. Добавьте 1–2 капли серной кислоты  $H_2SO_4$  и нагревайте на водяной бане в течение 20 минут.

3. Нейтрализуйте кислоту (см. предыдущий опыт) и подтвердите качественной реакцией наличие глюкозы в продуктах гидролиза крахмала.

Опыт 2. Качественное определение крахмала.

В пробирку с крахмальным клейстером добавьте несколько капель раствора йода  $I$ . Какое окрашивание наблюдаете?

Таблица 1

Результаты работы

Что делали	Что наблюдали	Выводы и уравнения реакций

#### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Составьте уравнения реакций по схеме:

Глюкоза → этанол → этаналь → уксусная кислота → метилацетат.

2. Задача.

Рассчитайте массу спирта, который можно получить при брожении 2 кг технической глюкозы, содержащей 10 % примесей. Практический выход спирта составляет 80 % от теоретического.

### Лабораторная работа № 27

## ИЗУЧЕНИЕ СТЕПЕНИ ДИССОЦИАЦИИ ОДНООСНОВНЫХ КАРБОНОВЫХ КИСЛОТ

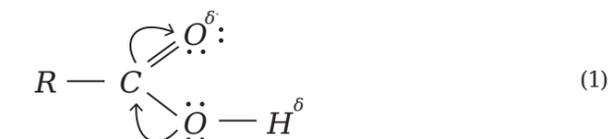
**Оборудование:** лаборатория с датчиком pH; 2 химических стакана объемом 50 мл; лабораторный штатив с лапкой; промывалка; дистиллированная вода; по 25–30 мл 0,1 М растворов уксусной  $CH_3COOH$  и муравьиной  $HCOOH$  кислот.

**Цель:** определить pH растворов карбоновых кислот заданной концентрации.

#### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

**Карбоновые кислоты** – это органические вещества, молекулы которых содержат одну или несколько карбоксильных групп. По числу карбоксильных групп карбоновые кислоты делятся на одноосновные, двухосновные и т. д.

Формула одноосновных карбоновых кислот:  $R-COOH$ . Взаимовлияние атомов в карбоксильной группе обуславливает смещение электронной плотности от гидроксильной группы в сторону карбонильной:



Смещение приводит к повышению полярности связи O–H в гидроксильной группе, что в свою очередь облегчает электролитическую диссоциацию кислоты:



Степень диссоциации и сила кислот зависят от величины и характера углеводородного радикала, связанного с карбоксильной группой. С увеличением числа атомов углерода в радикале константа диссоциации кислоты уменьшается (таблица 1), так как радикал подает на карбоксильную группу электронную плотность и уменьшает полярность связи O–H.

Таблица 1

Константы диссоциации первых представителей гомологического ряда кислот

Кислота	Число атомов углерода в молекуле	Константа диссоциации, $K_a$
Муравьиная	1	$1,77 \cdot 10^{-4}$
Уксусная	2	$1,74 \cdot 10^{-5}$
Пропионовая	3	$1,34 \cdot 10^{-5}$



#### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. С датчика *pH* снять защитный колпачок, промыть сполоснуть его нижней частью водой, высушить фильтровальной бумагой.
2. Подключить датчик лаборатории «Химия» к компьютеру или ноутбуку в соответствии с руководством пользователя ПО «Цифровая лаборатория». Запустить программу измерений.
3. Закрепить датчик *pH* в лапке штатива и подключить его к мультиметру. Запустить программу измерений, нажать на «Пуск».
4. В химический стакан налить 25–30 мл раствора муравьиной кислоты и погрузить в раствор датчик *pH*, закрепленный в лапке штатива. Подождать установления показаний несколько секунд и зафиксировать показания *pH*.
5. Вынуть датчик из стакана, промыть дистиллированной водой.
6. В химический стакан налить 25–30 мл раствора уксусной кислоты и погрузить в раствор датчик *pH*, закрепленный в лапке штатива. Подождать установления показаний несколько секунд и зафиксировать показания *pH*. Вынуть датчик из стакана, промыть дистиллированной водой.

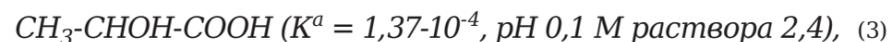
#### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Карбоновые кислоты – это ...
2. За счет чего проявляется кислотный характер карбоновых кислот?
3. Объясните влияние углеводородного радикала на силу кислоты?
4. Сравните значения *pH* муравьиной  $\text{HCOOH}$  и уксусной  $\text{CH}_3\text{COOH}$  кислоты.

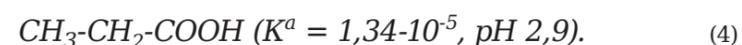
#### ■ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

В данной лабораторной работе будет проанализированы теоретические значения *pH*, которое для 0,1 М раствора муравьиной кислоты составляет 2,4, уксусной – 2,9. Фактически полученные значения могут немного отличаться от обозначенных значений. Обусловлено это тем, что представленные кислоты демонстрируют высокую летучесть и при хранении концентрация их растворов может уменьшаться.

Подобный лабораторный эксперимент представляется возможным оптимизировать. Рационально измерить *pH* раствора молочной кислоты:



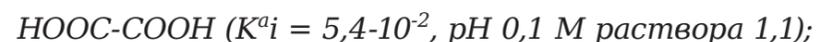
и сравнить с пропионовой кислотой



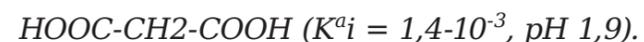
Из чего можно сделать вывод о влиянии электроотрицательных заместителей в радикале на силу кислоты. Данный опыт проще и безопаснее обычно описываемого в учебниках сравнения уксусной, хлоруксусной, дихлоруксусной и трихлоруксусной кислот.

Можно распространить работу на двухосновные кислоты:

- щавелевую кислоту



- сравнить с малоновой



Проанализировав значения уксусной и муравьиной кислот, можно сделать вывод о том, *pH* раствора муравьиной кислоты меньше, чем уксусной, что говорит о более кислой среде в растворе муравьиной кислоты.

Чем больше сила кислоты, тем меньше *pH* ее раствора (при одинаковых концентрациях кислот и их одинаковой основности).

С увеличением длины углеводородного радикала *pH* раствора кислоты (при прочих равных условиях) увеличивается.

#### ■ ВОПРОСЫ

1. Напишите уровни *pH* уксусной и муравьиной кислоты, в каком веществе среда более кислая? А также расскажите о взаимосвязи уровня кислоты и *pH* по каждому веществу.
2. Объясните, оказывает ли влияние углеводородный радикал на уровень *pH* предварительно подготовленного раствора кислоты?



## Лабораторная работа № 28

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТАНТ ДИССОЦИАЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ

**Оборудование:** лаборатория с датчиком  $pH$ ; штатив с зажимом; 3 химических стакана объемом 50 мл; промывалка; мерный цилиндр 25–50 мл; дистиллированная вода; фильтровальная бумага; по 25 мл 0,01 М растворов лимонной  $C_6H_8O_7$ , уксусной  $CH_3COOH$ , щавелевой  $C_2H_2O_4$  кислот.

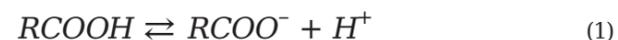
**Цель:** определить и сравнить константы диссоциации органических кислот.

### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Важными способностями реакций органических соединений являются их основные и кислотные свойства.

**Органические кислоты** – это слабые электролиты. На их сравнительную силу влияет состав и строение кислот. С увеличением углеводородного радикала сила кислоты уменьшается из-за его электронодонорного эффекта и уменьшения полярности связи  $O-H$ . Присутствие электроотрицательных атомов в молекуле увеличивает полярность связи  $O-H$  и, как следствие, силу кислоты.

Растворы электролитов характеризуются степенью диссоциации  $\alpha$  (альфа). **Степень диссоциации** – это отношение количества вещества электролита, распавшегося на ионы, к общему количеству растворенного вещества. Степень диссоциации электролита определяется с помощью опыта и выражается в процентах или в долях. Если  $\alpha = 0$ , то диссоциация отсутствует, а если  $\alpha = 1$ , или 100 %, то электролит распадается на ионы. В растворе органической кислоты степень диссоциации можно вычислить как:



$$\alpha = \frac{[H^+]}{[RCOOH]} = \frac{[H^+]}{C(RCOOH) - [H^+]} \approx \frac{10^{-pH}}{C(RCOOH)} \quad (2)$$

Поскольку в основном диссоциирует очень мало молекул кислоты, то равновесная концентрация молекулярной формы остается одинаковой, как исходная концентрация кислоты.

Степень диссоциации зависит от:

- природы растворителя;
- природы электролита;
- концентрации электролита;
- температуры.

Наиболее надежной количественной мерой силы кислоты, которая не зависит от ее концентрации, является константа диссоциации:

$$K = \frac{[H^+][RCOO^-]}{[RCOOH]} \quad (3)$$

Учитывая, что диссоциирует очень мало молекул кислоты, а также то, что концентрации иона водорода и иона кислотного остатка, согласно уравнению реакции (1), равны между собой, то выражение (3) можно записать следующим образом:

$$K = \frac{[H^+]^2}{C(RCOOH) - [H^+]} \approx \frac{[H^+]^2}{C(RCOOH)} = \frac{10^{-2pH}}{C(RCOOH)} \quad (4)$$

Измерив  $pH$  раствора кислоты с известной концентрацией, можно рассчитать значения константы диссоциации и степени диссоциации.

### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Снять защитный колпачок с датчика, промывалкой и дистиллированной водой сполоснуть его нижнюю часть, после высушить фильтровальной бумагой.
2. Подключить датчик лаборатории «Химия» к компьютеру или ноутбуку в соответствии с руководством пользователя ПО «Цифровая лаборатория». Запустить программу измерений.
3. Подключить к мультидатчику датчик  $pH$ .
4. В химический стакан налить с помощью мерного цилиндра 25 мл 0,01 М раствора уксусной кислоты  $CH_3COO$ . Погрузить в раствор датчик  $pH$  и нажать на «Пуск».
5. Подождать установления показаний и нажать на «Паузу». Зафиксировать  $pH$  раствора.
6. Вынуть датчик  $pH$ , промыть водой и вытереть фильтровальной бумагой.
7. Добавить в стакан при помощи мерного цилиндра 25 мл дистиллированной воды, размешать стеклянной палочкой. Подключить к мультидатчику датчик  $pH$ . В химический стакан налить с помощью мерного цилиндра 25 мл 0,01 М раствора уксусной кислоты  $CH_3COO$ . Погрузить в раствор датчик  $pH$  и нажать на «Пуск». Подождать установления показаний и нажать на «Паузу». Зафиксировать  $pH$  раствора. Вынуть датчик  $pH$ , промыть водой и вытереть фильтровальной бумагой.
8. В другой химический стакан налить около 25 мл раствора щавелевой кислоты  $C_2H_2O_4$ . Подключить к мультидатчику датчик  $pH$ . В химический стакан налить с помощью мерного цилиндра 25 мл 0,01 М раствора уксусной кислоты. Погрузить в раствор датчик  $pH$  и нажать на «Пуск». Подождать установления показаний и нажать на «Паузу». Зафиксировать  $pH$  раствора. Вынуть датчик  $pH$ , промыть водой и вытереть фильтровальной бумагой.
9. В третий химический стакан налить около 25 мл раствора лимонной кислоты  $C_6H_8O_7$ . Подключить к мультидатчику датчик  $pH$ .

Таблица 1

Результаты измерений и расчетов

Кислота	Концентрация кислоты, моль/л	$pH$	Степень диссоциации кислоты	Константа диссоциации кислоты
Уксусная	0,01			
Уксусная	0,005			
Щавелевая	0,01			
Лимонная	0,01			



В химический стакан налить с помощью мерного цилиндра 25 мл 0,01 М раствора уксусной кислоты. Погрузить в раствор датчик *pH* и нажать на «Пуск». Подождать установления показаний и нажать на «Паузу». Зафиксировать *pH* раствора. Вынуть датчик *pH*, промыть водой и вытереть фильтровальной бумагой.

10. Полученные результаты занести в таблицу 1.

#### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Степень диссоциации – это ... От чего она зависит?
2. Как вычислить степень диссоциации кислоты в растворе?
3. Как влияет величина углеводородного радикала на силу кислот?
4. Как вычислить константу диссоциации кислоты?
5. Почему константа диссоциации наиболее надежная характеристика силы кислоты?
6. Рассчитайте значение степени диссоциации и константы диссоциации для каждого раствора кислоты по формулам (2) и (4).
7. Сравните значения констант диссоциации для лимонной, щавелевой и уксусной кислот.

#### ■ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

В данной лабораторной работе будет изучено значение констант диссоциации органических кислот. В частности, чтобы определить показатели констант диссоциации, близких к справочным данным, необходимо:

- выполнить подготовку датчика *pH*, обстоятельно его промывая после каждого измерения и насухо промокая фильтровальной бумагой. Если не промывать датчик, остатки раствора на нем будут изменять концентрацию следующего исследуемого раствора. Оставшиеся капли воды будут понижать концентрацию следующего раствора;
- подготовить растворы лимонной и щавелевой кислот по точным навескам в мерных колбах;
- выполнять предварительную подготовку растворов в большом объеме, для минимизации возникновения относительных ошибок;
- применять исключительно свежий раствор уксусной кислоты, ввиду ее высокой летучести и снижения концентрации в течение непродолжительного времени;
- раствор уксусной кислоты протитровать (определить концентрацию кислоты/основания) и определить его точную концентрацию, так как концентрация продажного реактива может отличаться от заявленной.

Помимо кислот, упомянутых ранее, целесообразно использовать и другие имеющиеся органические водорастворимые кислоты. Работа может выполняться в рамках исследования: например, определить константу диссоциации синтезированной органической кислоты.

В таблице 2 приведены справочные значения констант диссоциации и соответствующие им значения *pH* и степени диссоциации в растворах указанной концентрации. В реальном эксперименте числа могут получиться другими.

Для лимонной и щавелевой кислот оправдано проводить точные расчеты по формулам, а для уксусной кислоты расчет может быть приблизительным (как и для любых кислот с константами диссоциации

Таблица 2

Результаты измерений и расчетов

Кислота	Концентрация кислоты, моль/л	<i>pH</i>	Степень диссоциации кислоты	Константа диссоциации кислоты
Уксусная	0,01	3,4	0,042	$1,8 \cdot 10^{-5}$
Уксусная	0,005	3,5	0,060	$1,8 \cdot 10^{-5}$
Щавелевая	0,01	2,1	0,614	$5,4 \cdot 10^{-2}$
Лимонная	0,01	2,6	0,313	$7,4 \cdot 10^{-4}$

порядка 10<sup>5</sup> и менее). Слабой группе обучающихся следует сообщить об этом заранее. Обучающиеся сильной группы могут догадаться об этом самостоятельно или, попытавшись посчитать степень диссоциации щавелевой кислоты приближенно, получить значение больше 1 и на этом основании исправить свою ошибку.

Степень диссоциации слабого электролита зависит от его концентрации. Чем меньше концентрация, тем выше степень диссоциации.

Отметим, что константа диссоциации слабого электролита не зависит от его концентрации. При данной температуре в данном растворителе она постоянна.

Данные константы диссоциации, полученные на основе экспериментальных данных, могут немного различаться вследствие погрешностей измерения.

Уксусная кислота – самая слабая, щавелевая – самая сильная из перечисленных.

Уксусная кислота слабее щавелевой, так как в молекуле щавелевой кислоты нет углеводородного радикала (отсутствует подача электронной плотности на карбоксильную группу) и есть дополнительные электроотрицательные атомы (два атома кислорода второй карбоксильной группы), увеличивающие полярность связи О-Н.

Щавелевая кислота сильнее лимонной, поскольку, несмотря на наличие трех карбоксильных групп, они разделены электронодонорными метиленовыми группами.

Что же касается лимонной кислоты, то она сильнее уксусной, потому что в ней присутствуют дополнительные электроотрицательные атомы.

#### ■ ВОПРОСЫ

1. Расскажите порядок обработки датчика измерений *pH* после выполнения каждого цикла измерений.
2. Выполните расчеты степени диссоциации константы диссоциации для каждого раствора кислоты по формулам. Проанализируйте выявленные значения этих показателей в растворе уксусной кислоты сильной и слабой концентрации.
3. Какая из кислот: щавелевая, лимонная, уксусная, является наиболее слабой/сильной? А также проанализируйте показатели констант перечисленных ранее кислот.



## Лабораторная работа № 29

## ВЛИЯНИЕ ЖЕСТКОСТИ ВОДЫ НА ПРОЦЕСС ОМЫЛЕНИЯ

**Оборудование:** цифровая лаборатория с датчиком  $pH$ ; химический стакан объемом 50 мл; лабораторная промывалка; мыльный раствор; дистиллированная вода; 0,1 М раствор соли кальция  $CaCl_2$  или магния  $MgSO_4$ .

**Цель:** исследовать изменение  $pH$  мыльного раствора при добавлении солей кальция или магния.

### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

**Мыло** – это натриевые и калиевые соли жирных кислот, т. е. длинноцепочечные карбоновые кислоты нормального строения. Натриевые соли являются основой твердого мыла, калиевые – жидкого мыла.

Причины моющих свойств мыла:

1. Раствор солей слабых кислот (карбоновые кислоты) в результате гидролиза имеют щелочную среду. Щелочи хорошо расщепляют жировые загрязнения. К примеру, в состав хозяйственного мыла входит до 60–70 % сильной щелочи ( $NaOH$ ), а средства для очистки труб от загрязнений полностью состоят из гидроксида натрия с некоторыми добавками.

2. Анион мыла состоит из 2 частей:

- неполярная часть (углеводородный радикал);
- полярная часть (остаток карбоксильной группы, заряженный отрицательно).

Органические загрязнения в основном неполярны. Анионы мыла окружают частицу грязи неполярными частями, ориентируясь вовне (в водный раствор) полярными частями. Получившаяся частица – мицелла – отрывается от поверхности и переходит в воду (см. рисунок 1). В полярной части мицеллы сосредоточен отрицательный заряд анионов карбоновых кислот, который притягивает противоположно заряженные катионы натрия или калия. Так, снаружи все мицеллы несут положительный заряд

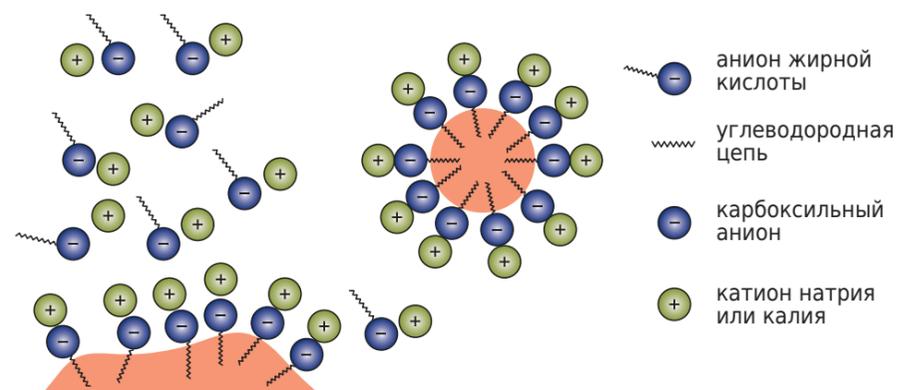


Рисунок 1.  
Образование мицеллы в мыльном растворе

### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

и отталкиваются друг от друга, благодаря чему образуется устойчивая эмульсия, и грязь не осаждается обратно.

**Жесткость воды** – это совокупность свойств, которые обусловлены содержанием катионов щелочноземельных элементов, преимущественно ионов магния и кальция. В жесткой воде моющие свойства мыла ухудшаются, так как магниевые и кальциевые соли карбоновых кислот нерастворимы, и происходит реакция с образованием осадка.

1. С датчика  $pH$  снять защитный колпачок, промыть его дистиллированной водой, сполоснуть его нижней частью, далее высушить фильтровальной бумагой.

2. Подключить датчик лаборатории «Химия» к компьютеру или ноутбуку в соответствии с руководством пользователя ПО «Цифровая лаборатория». Запустить программу измерений.

3. Закрепить датчик  $pH$  в лапке штатива и подключить его к планшету или компьютеру.

4. В химический стакан налить 25 мл мыльного раствора. Опустить в раствор датчик  $pH$  и нажать на «Пуск». Подождать пока показания стабилизируются, зафиксировать значение  $pH$ . Нажать на «Паузу».

5. Добавить в мыльный раствор 10–20 мл раствора соли магния или кальция, опустить в раствор датчик  $pH$  и нажать на «Пуск». Подождать пока показания стабилизируются, зафиксировать значение  $pH$ . Нажать на «Паузу».

### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Мыло – это ... Причины моющих свойств мыла.
2. Чем отличается по составу твердое мыло от жидкого?
3. Жесткая вода – это ...
4. Почему в жесткой воде моющие свойства мыла ухудшаются?
5. Чему равен  $pH$  мыльного раствора? Какую среду имеет мыльный раствор?
6. О чем свидетельствует изменение  $pH$  после добавления раствора соли магния или кальция? Почему  $pH$  меняется?

### ■ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

В данной лабораторной работе планируется проанализировать влияние жесткой воды на мыло. Эксперимент может быть обозначен как исследовательский, в рамках которого представляется возможным рассчитать  $pH$  исходного раствора мыла. А также добавление растворов солей кальция и магния произвольных пропорций или добавление растворов солей других металлов.

Помимо мыла, можно использовать также и стиральные порошки, иные моющие средства. Обратим внимание, что некоторые из них могут оказаться устойчивы к действию жесткой воды. Связано это с тем, что в их основе лежат не соли карбоновых кислот, а другие вещества, имеющие полярную и неполярную часть. В частности, полуэфиры-полусоли серной кислоты (один атом водорода серной кислоты замещен на щелочной металл, по второй  $OH$ -группе образован сложный эфир со спиртом, имеющим длинный углеводородный радикал). С такими веществами ионы кальция и магния не образуют осадка.

Мыльный раствор имеет щелочную среду, около 9–10  $pH$ , в зависимости от концентрации мыла и от его сорта. Щелочная среда обусловлена гидролизом по аниону слабой карбоновой кислоты.

При добавлении раствора соли магния или кальция  $pH$  существенно уменьшается, как показано на рисунке 2. Здесь значение  $pH$  превышает 7,4.

Подобные преобразования  $pH$  сложно обосновать простым разбавлением раствора. Даже если разбавить мыльный раствор в 2 раза водой,  $pH$  уменьшится всего на 0,3 единицы.  $pH$  резко уменьшается, потому что анионы мыла связываются катионами кальция и магния в осадок. Среда становится практически нейтральной, так как из раствора уходят анионы, дающие при гидролизе щелочную среду.

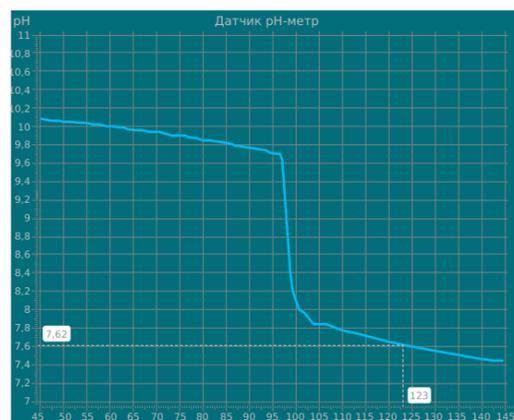


Рисунок 2.  
Изменение  $pH$  при приливании к раствору мыла раствора соли магния

#### ■ ВОПРОС

1. Назовите уровень  $pH$  мыльного раствор, соли магния или кальция, в том числе и после процесса приливания. Происходят ли после этого действия изменения и меняется ли первоначальный уровень  $pH$ ?

### Лабораторная работа № 30

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ $pH$ РАСТВОРОВ АМИНОКИСЛОТ

*Оборудование:* цифровая лаборатория с датчиком  $pH$ ; химические стаканы объемом 50 мл; промывалка; штатив с лапкой; дистиллированная вода; по 25–30 мл 0,01 М растворов аминокислот – глицина  $C_2H_5NO_2$ , глутаминовой кислоты  $C_5H_9NO_4$ , лизина  $C_6H_{14}N_2O_2$ .

*Цель:* определить  $pH$  растворов аминокислот и сделать вывод о зависимости значения  $pH$  от строения аминокислот.

#### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

**Аминокислоты** – твердые кристаллические вещества, хорошо растворимые в воде. Водные растворы аминокислот электропроводны.

Эти свойства объясняются тем, что молекулы аминокислот существуют в виде внутренних солей, которые образуются за счет переноса иона водорода от карбоксильной группы к аминогруппе. При этом образуются частицы с положительным и отрицательным полюсами. Такие частицы называются биполярными ионами или цвиттер-ионами:



Водные растворы большинства аминокислот имеют почти нейтральную реакцию. Однако если в состав аминокислоты входят две карбоксильные группы, то реакция раствора будет кислой. Это объясняется тем, что один ион водорода карбоксильной группы присоединяется к аминогруппе, а вторая карбоксильная группа в растворе диссоциирует.

Аминокислота, содержащая две аминогруппы, при растворении в воде дает щелочную реакцию. При взаимодействии с водой вторая аминогруппа присоединяет ион водорода, при этом происходит выделение свободных гидроксид-ионов  $OH^-$ .

#### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. С датчика  $pH$  снять защитный колпачок, с помощью промывалки и дистиллированной воды ополоснуть его нижнюю часть, после чего осушить фильтровальной бумагой.
2. Подключить мультидатчик лаборатории «Химия» к ноутбуку в соответствии с руководством пользователя ПО «Цифровая лаборатория». Запустить программу измерений.
3. Закрепить датчик  $pH$  в лапке штатива и подключить его к мультидатчику.
4. В химический стакан налить 25–30 мл раствора глицина, опустить в раствор датчик  $pH$ , закрепленный в лапке штатива так, чтобы кончик элемента был погружен на 3 см, и не касался ни стенок, ни дна пробирки. Нажать на «Пуск». Подождать установления показаний и нажать на «Паузу». Зафиксировать показания  $pH$  раствора аминокислоты.
5. Вынуть датчик  $pH$  из раствора, тщательно промыть дистиллированной водой.





### ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. С датчика *pH* снять защитный колпачок, промыть дистиллированной водой, сполоснуть его нижней частью, после чего высушить фильтровальной бумагой.
2. Подключить мультидатчик лаборатории «Химия» к ноутбуку в соответствии с руководством пользователя ПО «Цифровая лаборатория». Запустить программу измерений.
3. Подключить к мультидатчику датчик *pH*.
4. Закрепить датчик *pH* в лапке штатива.
5. В химический стакан налить 30 мл дистиллированной воды, добавить 2 мл этилацетата и погрузить в него датчик *pH*, закрепленный в лапке штатива, на 3 см. Нажать на «Пуск». Подождать установления показаний и нажать на «Паузу».
6. Вынуть датчик *pH* из раствора, промыть его дистиллированной водой и высушить фильтровальной бумагой.
7. Во второй химический стакан налить 30 мл дистиллированной воды, добавить 2 мл известковой воды и погрузить в него датчик *pH*, закрепленный в лапке штатива, на 3 см. Нажать на «Пуск». Подождать установления показаний и нажать на «Паузу». Вынуть датчик *pH* из раствора, промыть его дистиллированной водой и высушить фильтровальной бумагой.
8. К полученному раствору прилить 2 мл этилацетата, осторожно перемешать содержимое. Нажать на «Пуск». Подождать установления показаний и нажать на «Паузу». Вынуть датчик *pH* из раствора, промыть его дистиллированной водой и высушить фильтровальной бумагой.
9. Полученные результаты записать в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты измерений *pH*

Реагенты	<i>pH</i>
Вода дистиллированная + этилацетат	
Вода дистиллированная + гидроксид кальция	
Вода дистиллированная + гидроксид кальция + этилацетат	

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сложные эфиры – это ...
2. Почему в щелочной среде реакция гидролиза необратима?
3. В какой среде гидролиз этилового эфира уксусной кислоты протекает быстрее?
4. Напишите уравнения гидролиза сложных эфиров в щелочной и нейтральной среде.
5. Какую среду имеет известковая вода и водный раствор этилацетата  $C_4H_8O_2$ ?
6. Как меняется *pH* при добавлении этилацетата к известковой воде?

### ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

В данной лабораторной работе предлагается проанализировать процесс гидролиза этилацетата в присутствии раствора щелочи. В рамках эксперимента представляется возможным измерить *pH* растворов, в составе которых имеется этилацетат. Опыт рекомендуется проводить быстро, так как этилацетат постепенно растворяет пластиковые детали датчика. Отметим, что при добавлении этилацетата в известковую воду *pH* уменьшается, поскольку гидроксид кальция расходуется в реакции с этилацетатом.

Далее рекомендуем ознакомиться с уравнением протекающих процессов в нейтральной среде, как показано на рисунке 1.

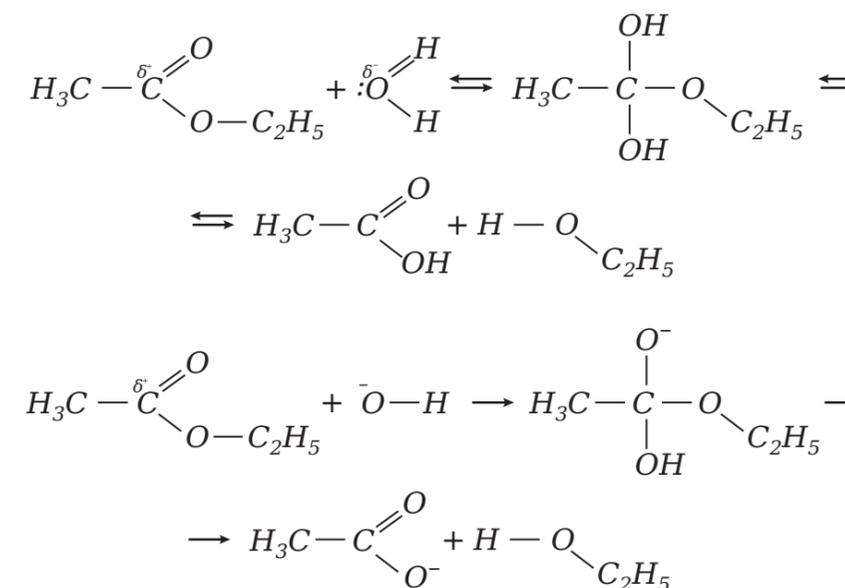


Рисунок 1.

Уравнения протекающих процессов в нейтральной среде

### ВОПРОС

1. Какова среда водного раствора этилацетата, известковой воды, а также как меняется среда и уровень *pH* при смешивании этих веществ?



## ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ДЛЯ 11 КЛАССА

### Лабораторная работа № 32

#### ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ РЕАКЦИИ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ

**Оборудование:** цифровая лаборатория с датчиком температуры; лабораторные весы и промывалка; лабораторный штатив с 2 лапками; мерный цилиндр объемом 50-100 мл; дистиллированная вода; магнитная мешалка; 3 стакана для химических реакций объем 100-150 мл; стеклянная воронка; стакан и крышка с 2 отверстиями из специального материала, имеющего теплоизолирующий эффект; 50 мл 1 М раствора гидроксида натрия  $NaOH$  и азотной кислоты  $HNO_3$ ; фильтровальная бумага.

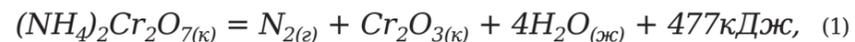
**Цель:** с помощью экспериментального метода определить теплоту реакции нейтрализации.

#### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Любую химическую реакцию сопровождает поглощение или выделение энергии (теплоты). Первые носят название эндотермические, вторые – экзотермические. Количество поглощенной или выделенной теплоты – это тепловой эффект процесса  $Q$ , величина которой измеряется в кДж. Для эндотермических процессов  $Q$  всегда меньше 0, а для экзотермических процессов  $Q$  больше 0. Тепловой эффект зависит от природы и количества веществ, их агрегатного состояния, а также температуры самого процесса.

Тепловой эффект химических процессов изучает термохимия. В термохимических уравнениях реакций всегда указывается тепловой эффект, агрегатное состояние исходного вещества и продукта реакции. Также в них могут применяться дробные коэффициенты, потому что тепловой эффект приводится на 1 моль химического вещества, то есть участника реакции.

Приведем пример термохимического уравнения:



где:

(к) – кристаллическое состояние вещества;

(г) – газообразное состояние вещества;

(ж) – жидкое состояние вещества.

Некоторые процессы теплового эффекта можно определить по формуле:

$$Q = \Sigma c(t_2 - t_1), \quad (2)$$

где:

$\Sigma c$  – суммарная теплоемкость системы;

$t_2$  – конечная температура системы;

$t_1$  – начальная температура системы.

Данные измерения проводятся в калориметрических установках, при которых сосуд для реакций должен быть теплоизолирован от внешней среды.

В ситуации, если тепловой эффект процесса трудно или невозможно измерить, то процесс делят на стадии, в которых возможно измерение. После чего тепловой эффект каждой стадии суммируется.

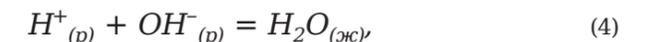
Вышеизложенный подход определяется законом Г. И. Гесса, который звучит следующим образом: «Если при химической реакции не совершается работа, то количество выделяющейся или поглощающейся теплоты определяется только видом и состоянием исходных веществ и продуктов реакции и не зависит от пути перехода от начальных веществ к конечным».

В термохимических расчетах важную роль играет теплота образования вещества  $Q_{обр}$  – это тепловой эффект реакции образования 1 моля вещества из простых веществ, которые устойчивы при стандартных условиях (давление – 101,3 кПа, температура – 298 К). Таким образом, следствием из закона Г. И. Гесса является следующее соотношение:

$$Q_{(реакции)} = \sum_i n_i Q_{обр i} (продуктов) - \sum_j n_j Q_{обр j} (исходных веществ), \quad (3)$$

где из суммы теплоты образования продуктов реакции, при учете стехиометрических коэффициентов в уравнении, вычитается сумма для исходных веществ.

Реакция нейтрализации:



где (р) – раствор, который сопровождается тепловым эффектом (т. е. теплоты нейтрализации), (ж) – жидкое состояние.

Приведенное ионное уравнение справедливо для взаимодействия сильных оснований (щелочей) и сильных кислот.

#### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. За верхнюю часть шупа закрепить температурный датчик в лапке штатива.
2. С помощью лабораторных весов взвесить химический стакан, его массу занести в таблицу 1.
3. Собрать установку (см. рисунок 1). В химический стакан нужно опустить якорь магнитной мешалки, затем этот стакан поместить в теплоизолирующий стакан, далее закрыть его термоизолирующей крышкой с отверстием для воронки и шупа датчика.
4. Подсоединить температурный датчик к персональному компьютеру или ноутбуку.
5. В два химических стакана налить по 50 мл 1 М растворов азотной кислоты  $HNO_3$  и гидроксида натрия  $NaOH$ , далее оставить их на 4 минуты с целью выравнивания температуры.
6. Подключить датчик «Химия» к персональному компьютеру или ноутбуку, учитывая руководство пользователя программного обеспечения «Цифровая лаборатория». Затем включить программу измерений.
7. Подключить к мультидатчику шуп температурного датчика.
8. Погрузить температурный шуп в стакан с щелочью и измерить температуру раствора ( $t_w$ ). Когда температура перестанет колебаться, нужно нажать на «Паузу».
9. Далее из стакана нужно достать температурный шуп и с помощью промывалки сполоснуть его дистиллированной водой, а затем вытереть фильтровальной бумагой.
10. Нажать на «Пуск» и погрузить температурный шуп в стакан с кислотой, измерить температуру раствора ( $t_k$ ). Когда температура перестанет колебаться, нужно нажать на «Паузу».

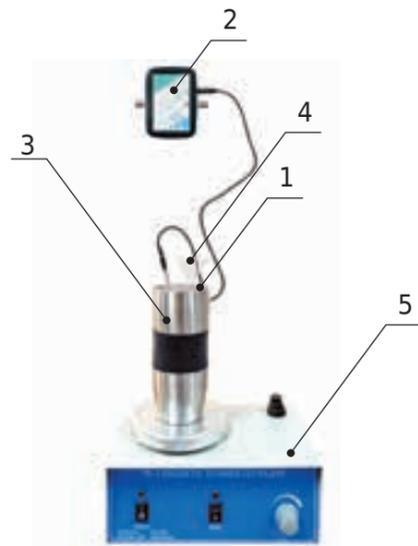


Рисунок 1.

Схема калориметрической установки для измерения теплоты растворения сульфата бария: 1 - крышка, 2 - температурный датчик, 3 - щуп датчика, 4 - стеклянная воронка, 5 - магнитная мешалка

11. После того как вы убедились, что температура раствора щелочи и кислоты стала стабильной и показывает одинаковый уровень, с помощью воронки в химический стакан калориметрической установки необходимо вылить раствор с щелочью и погрузить в него щуп датчика.

12. Затем нажать на «Пуск» и включить магнитную мешалку таким образом, чтобы перемешивание стало умеренным. После чего подождать пару секунд, пока установится первоначальное значение температуры  $t_1$ .

13. С помощью воронки вылить раствор с кислотой в щелочь. Немного подождать. Датчик должен показать наивысшую температуру  $t_2$ . Нажать на «Паузу».

14. Все результаты эксперимента занести в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты измерений

Масса стакана, кг, $m_3$	Температура раствора		Температура		Объем жидкости в стакане $V$ , мл
	$NaOH$ , $t_{щ}$	$HNO_3$ , $t_к$	начальная, $t_1$	после нейтрализации, $t_2$	

15. Вычислить теплоту, которая поглощается или выделяется в калориметре, по формуле (1). Теплоемкость системы рассчитывается по формуле:

$$\Sigma C = c_1 \cdot m_1 + c_2 \cdot m_2 + c_3 \cdot m_3, \quad (5)$$

где:

$c_1$  и  $c_2$  - удельные теплоемкости раствора с кислотой и щелочью, которые равны удельной теплоемкости воды - 4,19 кДж/(кг·К);

$c_3$  - удельная теплоемкость стекла - 0,75 кДж/(кг·К);

$m_1$  и  $m_2$  - масса раствора с кислотой и щелочью, кг (плотность растворов равна плотности воды - 1000 кг/м<sup>3</sup>);

$m_3$  - масса стакана, кг.



#### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

16. Рассчитать число молей кислоты (щелочи)  $n$ , с учетом заданной молярной концентрации и объема раствора. Вычислить теплоту нейтрализации в кДж/моль.

1. Тепловой эффект процесса - это ... В каких единицах измеряется тепловой эффект процесса?
2. Перечислите факторы, от которых зависит тепловой эффект процесса.
3. При каких обстоятельствах тепловой эффект будет положительным либо отрицательным?
4. Дайте определение следующим понятиям: «экзотермический процесс» и «эндотермический процесс».
5. Что такое теплота нейтрализации?
6. Что такое калориметрическая установка для определения теплоты нейтрализации?
7. Как определяется тепловой эффект реакции?
8. Почему исходный раствор с кислотой и щелочью должен иметь одинаковую температуру?
9. Почему плотность раствора щелочи и кислоты должна быть равной плотности воды?
10. Почему удельная теплоемкость раствора щелочи и кислоты должна быть равной удельной теплоемкости воды?
11. Поглонилось или выделилось тепло при реакции нейтрализации? Это эндотермическая или экзотермическая реакция?
12. Как отличается значение теплоты нейтрализации, если не применять теплоизолирующий стакан?
13. Сравните полученные данные теплоты нейтрализации с теоретической, рассчитайте ошибку опыта по следующей формуле:

$$\delta_{отн} \% = \left| \frac{Q_{эксп} - Q_{теор}}{Q_{теор}} \right| \cdot 100 \%, \quad (6)$$

где:

$Q_{эксп}$  - экспериментальное значение теплоты нейтрализации;

$Q_{теор}$  - теплота нейтрализации = 57,22 кДж/моль.

#### ■ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

При изучении темы по определению теплоты реакции нейтрализации целесообразно обратить внимание на материал про закон Гесса.

Для проведения лабораторного опыта необходимо взять стакан из теплоизолирующего материала. В качестве альтернативы может использоваться бытовой термос. Можно также изготовить такой стакан самостоятельно из обычного пластикового стакана, обложив его стенки и дно ватой и закрепив ее нитками или фольгой, как это показано на рисунке 1. Разрешается применять плоскую пластиковую крышку диаметром больше диаметра стакана, проделав в ней два отверстия:

- для датчика температуры;
- для воронки.

Но лучше сделать для крышки теплоизоляцию из ваты.

При проведении демонстрационной работы можно обойтись без теплоизолирующего стакана. Экзотермичность реакции в любом случае будет хорошо проявляться в ходе опыта.

При минимальных временных возможностях рационально не выравнивать температуры растворов кислоты ( $t_к$ ) и щелочи ( $t_{щ}$ ), а рассчитать исходную температуру ( $t_1$ ) как среднюю между ними:

$$t_1 = (t_{щ} + t_к)/2. \quad (1)$$



Рисунок 1.

Самодельный теплоизолирующий стакан и крышка с отверстиями, плотно прилегающая к нему. На фото показано, как химический стакан располагается в теплоизолирующем стакане

Методику данной работы можно использовать для определения тепловых эффектов любых химических реакций в растворах.

Отметим, что для большей точности эксперимента необходимо, чтобы исходные растворы щелочи и кислоты имели одинаковую температуру.

Удельные теплоемкости растворов кислоты и щелочи допускается принять равными удельной теплоемкости воды, потому что растворы разбавлены, и основную их часть составляет вода. Плотность растворов кислоты и щелочи допускается принять равными плотности воды по той причине, что растворы разбавлены, и основную их часть составляет вода.

Поскольку все стехиометрические коэффициенты в уравнении реакции нейтрализации одинаковы, и вещества взяты в стехиометрическом отношении (по 0,05 моль), то нет разницы, на моль какого из участников проводить расчет. Если взять реакцию с разными стехиометрическими коэффициентами, например:



то значения теплового эффекта, рассчитанные на моль водорода или на моль воды, будут равны между собой и вдвое меньше значения, рассчитанного на моль кислорода. Тепло выделяется, реакция экзотермическая.

Часть теплоты пойдет на нагрев окружающей среды, следовательно, наблюдаемое повышение температуры будет меньше, и полученное значение теплоты нейтрализации будет занижено.

#### ■ ВОПРОСЫ

1. Нужно ли перед проведением опыта обеспечить щелочи и кислоте идентичные температурные значения и почему?
2. Объясните, по какой причине удельная теплоемкость растворов кислоты и щелочи разрешено принимать равными удельной теплоемкости, плотности воды?
3. Если для проведения эксперимента использовать теплоизолирующий сосуд с крышкой, будут ли полученные значения верными или отличными от запланированных?
4. Опишите процессы, для которых показатели теплового значения будут зависеть от тех, на моль которых из участников процесса выполняется расчет.

#### Лабораторная работа № 33

### ИЗУЧЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ТЕПЛОВОГО ЭФФЕКТА С ПОМОЩЬЮ КАЛОРИМЕТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

*Оборудование:* цифровая лаборатория с датчиком температуры; химический стакан (100 мл); дистиллированная вода; теплоизолирующий стакан; лабораторная промывалка; теплоизолирующая крышка с 2 отверстиями; гидроксид натрия  $\text{NaOH}$  кристаллический; магнитная мешалка; 1 М раствор соляной кислоты  $\text{HCl}$  и гидроксида натрия  $\text{NaOH}$ .

*Цель:* практическое применение закона Г. И. Гесса.

#### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

**Гесс Г. И.** (1802–1850) – русский химик, основоположник термохимии. Академик открыл закон термохимии, который звучит следующим образом: «Если в процессе не совершается работа, то тепловой эффект реакции зависит от начального и конечного состояния реагирующих веществ, а не от числа и вида стадий этого процесса».

Закон Гесса дает нам возможность не измерять тепловой эффект каждой реакции. В ситуации, когда реакцию сложно провести в лаборатории, можно подобрать порядок реакций, которые легче осуществляются, при условии, что их сумма должна давать необходимую реакцию. После того как произошло измерение тепловых эффектов легких последовательных реакций, их данные суммируют, тем самым находят теплоту трудной реакции.

#### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. За верхнюю часть щупа закрепить температурный датчик в лапке штатива.
2. С помощью лабораторных весов взвесить химический стакан
3. Собрать установку (см. рисунок 1).
4. В химический стакан погрузить магнитную мешалку, затем этот стакан поместить в теплоизолирующий стакан, далее закрыть его термоизолирующей крышкой с отверстиями для щупа датчика и воронки.
5. Подключить датчик «Химия» к персональному компьютеру или ноутбуку, учитывая руководство пользователя программного обеспечения «Цифровая лаборатория». Затем включить программу измерений.
6. Подключить к мультидатчику щуп температурного датчика.
7. Заполнить химический стакан водой (50 мл). Запустить программу измерений, нажав на «Пуск».
8. Погрузить температурный щуп в стакан с водой, замерить ее температуру. Когда температура перестанет колебаться, нажать на «Паузу».
9. Далее из стакана нужно достать температурный щуп и вытереть его фильтровальной бумагой.
10. В стакан калориметрической установки положить 2 г кристаллического гидроксида натрия  $\text{NaOH}$ . Затем закрыть установку крышкой и в нужные отверстия вставить датчик температуры и воронку.
11. Нажать на «Пуск». С помощью воронки влить воду и включить мешалку. Далее на экране можно будет проследить изменение температуры.



Рисунок 1.

Схема калориметрической установки для измерения теплоты растворения сульфата бария: 1 – крышка, 2 – температурный датчик, 3 – шуп датчика, 4 – стеклянная воронка, 5 – магнитная мешалка

После того как изменение температуры остановится, следует прекратить регистрацию, нажав на «Паузу». Данные внести в таблицу 1 (процесс 1).

12. Затем промыть шуп с помощью дистиллированной воды и вытереть его фильтровальной бумагой. Извлечь из стакана магнитную мешалку, также помыть и высушить. Поменять стакан и поместить в него якорек.

13. Опустить шуп в стакан с 1 М соляной кислотой  $HCl$ , измерить ее температуру. Когда температура перестанет колебаться, нужно нажать на «Паузу».

14. Снова заполнить химический стакан водой (50 мл). Запустить программу измерений, нажав на «Пуск». Погрузить температурный шуп в стакан с водой, замерить ее температуру. Когда температура перестанет колебаться, нужно нажать на «Паузу».

15. Далее нажать на «Пуск». С помощью воронки влить 50 мл 1 М раствора соляной кислоты  $HCl$  и включить мешалку. Далее на экране можно будет проследить изменение его температуры. После того как изменение температуры остановится, нужно будет прекратить регистрацию, нажав на «Паузу». Данные внести в таблицу 1 (процесс 2).

16. В стакан калориметрической установки положить 2 г кристаллического гидроксида натрия  $NaOH$ . Влить 50 мл 1 М раствора гидроксида натрия  $NaOH$ , поставить на мешалку. Затем закрыть установку крышкой и в нужные отверстия вставить датчик температуры и воронку. Нажать на «Пуск».

Таблица 1

Результаты измерения величины теплового эффекта

	Измерение температуры, °С	Величина теплового эффекта процесса, кДж	Величина теплового эффекта процесса, кДж/моль
Процесс 1 Вода + $NaOH$ крист.			
Процесс 2 1 М $HCl$ + $NaOH$ крист.			
Процесс 3 1 М $HCl$ + 1 М $NaOH$			



17. Включить мешалку. 1 М раствор гидроксида натрия  $NaOH$  будет перемешиваться до тех пор, пока температура не перестанет колебаться. С помощью воронки добавить 50 мл 1 М раствора соляной кислоты  $HCl$ . Далее на экране можно будет проследить изменение его температуры. После того как изменение температуры остановится, нужно будет прекратить регистрацию, нажав на «Паузу».

18. Данные внести в таблицу 1 (процесс 3).

Тепловой эффект каждого процесса можно рассчитать по формуле:

$$Q = \Sigma c(t_2 - t_1), \quad (1)$$

где:

$t_1$  – начальная температура системы;

$t_2$  – конечная температура системы;

$\Sigma c$  – суммарная теплоемкость системы.

Суммарная теплоемкость системы рассчитывается по формуле:

$$\Sigma c = c_{p-ра} \cdot m_{p-ра} + c_{ст} \cdot m_{ст}, \quad (2)$$

где:

$c_{p-ра}$  – удельная теплоемкость раствора, равная удельной теплоемкости воды – 4,19 кДж/(кг·К);

$m_{p-ра}$  – масса раствора, кг (плотность раствора равна плотности воды – 1000 кг/м<sup>3</sup>);

$c_{ст}$  – удельная теплоемкость стекла – 0,75 кДж/(кг·К);

$m_{ст}$  – масса стакана, кг.

19. После эксперимента необходимо проверить соответствие полученного результата закону Гесса:

$$Q = Q_I + Q_{II}. \quad (3)$$

#### ■ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

В данной лабораторной работе предлагаем более детально ознакомиться с законом Гесса. Для этого потребуется изготовить емкость и крышку из теплоизолирующего материала, как это было ранее изложено в рекомендациях к работе № 28 «Определение теплоты реакции нейтрализации».

Чтобы сделать расчеты предельно простыми, необходимо брать количество всех используемых в работе веществ равным 0,05 моль. При работе с сильной группой можно задать только массу твердой щелочи и объем воды. Используемые для опытов объемы растворов 1 М гидроксида натрия  $NaOH$  и 1 М соляной кислоты  $HCl$  необходимо высчитать самостоятельно так, чтобы реагенты находились в стехиометрическом отношении.

Для учеников сильной группы оправдано видоизменить работу, проведя реакции 2 и 3 несколько раз с разными отношениями количества реагентов. Расчеты нужно вести по тому веществу, которое находится в недо-

Таблица 2

Результаты измерения величины теплового эффекта

	Измерение температуры, °С	Величина теплового эффекта процесса, кДж	Величина теплового эффекта процесса, кДж/моль
Процесс 1 Вода + $NaOH$ крист.	8,6	1,905	38,1
Процесс 2 1 М $HCl$ + $NaOH$ крист.	20,9	4,613	92,3
Процесс 3 1 М $HCl$ + 1 М $NaOH$	6,7	2,882	57,7



статке. Тепловые эффекты в кДж/моль при этом не зависят от отношения количеств реагентов (хотя тепловые эффекты в кДж будут разными).

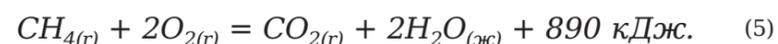
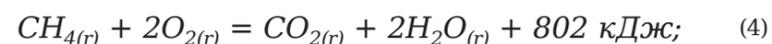
Важно, что в ходе эксперимента могут получиться другие численные значения.

В химический стакан калориметрической установки рекомендуется помещать твердую щелочь, а не воду или раствор кислоты, потому что твердое вещество всыпать через воронку неудобно. Особенно это касается гидроксида натрия, частицы которого расплываются на воздухе, слипаются между собой и забивают носик воронки.

Температуру воды и раствора кислоты оправдано измерять предварительно, потому что эта температура будет взята как исходная, так как щуп датчика плохо контактирует с твердым веществом и не может адекватно измерить его температуру.

Количество щелочи и кислоты в молях для каждого процесса составляет по 0,05 моль.

Далее рекомендуем ознакомиться с формулой испарения воды через тепловые процессы:



Рассчитайте ее.

Суммарный процесс (4), он складывается из процесса (5) и удвоенного процесса испарения воды.

$$Q = (Q_1 + Q_2)/2;$$

$$Q = (802 - 890)/2 = -44 \text{ кДж/моль}.$$

#### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Проанализируйте закон Гесса.
2. Что такое тепловой эффект реакции?
3. Каким образом можно найти тепловой эффект реакции, которую невозможно провести в лаборатории?
4. Опишите устройство калориметрической установки.
5. Почему в стакан установки необходимо помещать твердую щелочь, а не раствор кислоты или воду?
6. Для чего нужны предварительные данные температуры воды?
7. Рассчитайте количество кислоты и щелочи в молях для каждого процесса. Какой процесс считается полной реакцией? Как выражается тепловой эффект процесса через тепловые эффекты его стадий, применяя символы  $Q_1$ ,  $Q_2$  и  $Q_3$ , где 1, 2, 3 – это номер процесса.
8. Проверьте выполнение закона Гесса. В чем могут быть причины отклонений?

#### Лабораторная работа № 34

### ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ НА ПРИМЕРЕ СУЛЬФАТА БАРИЯ

*Оборудование:* лаборатория с датчиком температуры; лабораторный штатив с 2 лапками; магнитная мешалка; лабораторные весы; мерный цилиндр 25–50 мл; стеклянная воронка; 2 химических стакана объемом 50 мл; теплоизолирующий стакан; сульфат бария  $\text{BaSO}_4$ ; сульфат калия  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ; 2 шпателя или лопаточки; теплоизолирующая крышка с 2 отверстиями.

*Цель:* определить теплоту осаждения сульфата бария и рассчитать теплоту его растворения.

#### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Тепловой эффект растворения такого вещества, как сульфат бария, нельзя измерить напрямую. Количество сульфата бария, которое при растворении вызвало бы тепловой эффект больше чувствительности прибора, не растворяется в малом объеме воды.

Если тепловой эффект процесса измерить нельзя, то используется закон Гесса, выражая тепловой эффект с помощью тепловых эффектов наименьших процессов. Процесс, обратный растворению сульфата бария – это его осаждение из раствора.

По закону Гесса:

$$Q_{\text{растворения}} = -Q_{\text{осаждения}} \quad (1)$$

Большое количество осаждаемого сульфата бария можно получить с помощью обменной реакции в растворе по следующей формуле:



Таким образом можно измерить тепловой эффект процесса, а также найти теплоту растворения сульфата бария  $\text{BaSO}_4$ .

#### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. За верхнюю часть щупа закрепить температурный датчик в лапке штатива. С помощью лабораторных весов взвесить химический стакан.
2. Приготовить 20 мл насыщенного раствора сульфата калия  $\text{K}_2\text{SO}_4$ . Для этой цели 2,2 г  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , помещивая, нужно растворить в небольшой порции воды и довести объем раствора до 20 мл.
3. Затем перелить приготовленный раствор в стакан, далее взвесить стакан с раствором и вычислить массу раствора.
4. Собрать установку (см. рисунок 1).
5. В химический стакан с раствором сульфата калия положить магнитную мешалку, поместить данный стакан в теплоизолирующий стакан, который стоит на магнитной мешалке, закрыть термоизолирующей крышкой с отверстиями для щупа датчика и воронки.



Рисунок 1.

Схема калориметрической установки для измерения теплоты растворения сульфата бария: 1 - крышка, 2 - температурный датчик, 3 - шуп датчика, 4 - стеклянная воронка, 5 - магнитная мешалка

6. Подключить датчик «Химия» к персональному компьютеру или ноутбуку, учитывая руководство пользователя программного обеспечения «Цифровая лаборатория». Затем включить программу измерений.

7. Далее подключить к мультидатчику шуп датчика температуры и взвесить второй стакан.

8. Приготовить 20 мл раствора хлорида бария  $BaCl_2$  с такой же молярной концентрацией, как у сульфата калия  $K_2SO_4$ . Затем перелить приготовленный раствор в стакан, далее взвесить стакан с раствором и вычислить массу раствора.

9. Стакан с раствором хлорида бария  $BaCl_2$  оставить на пару минут с целью выравнивания температуры. Запустить программу измерений и нажать «Пуск».

10. Опустить температурный шуп в стакан с сульфатом калия, замерить температуру данного раствора. Когда температура перестанет колебаться, с помощью воронки в химический стакан калориметрической установки налить раствор хлорида бария.

11. Подождать пока температура станет стабильной и нажать на «Паузу». Отметить наивысшую температуру.

12. Вычислить теплоту, которая выделяется или поглощается в калориметре, используя формулу:

$$Q = \Sigma c(t_2 - t_1), \quad (3)$$

где:

$\Sigma c$  - суммарная теплоемкость системы;

$t_1$  - начальная температура системы;

$t_2$  - конечная температура системы.

Суммарная теплоемкость системы рассчитывается по формуле:

$$\Sigma c = c_1 \cdot m_1 + c_2 \cdot m_2 + c_3 \cdot m_3, \quad (4)$$

где:

$c_1$  и  $c_2$  - удельные теплоемкости растворов  $BaCl_2$  и  $K_2SO_4$ , которые равны удельной теплоемкости воды 4,19 кДж/(кг·К);

$c_3$  - удельная теплоемкость стекла 0,75 кДж/(кг·К);

$m_1$  и  $m_2$  - массы растворов  $BaCl_2$  и  $K_2SO_4$ , кг (плотность растворов кислоты и щелочи равно плотности воды - 1000 кг/м<sup>3</sup>);

$m_3$  - масса стакана, кг.



#### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

13. После эксперимента нужно рассчитать число молей сульфата бария, которое образуется в реакции, а также рассчитать теплоту растворения сульфата бария в кДж/моль.

1. Тепловой эффект процесса - это ... В каких единицах он измеряется?
2. Проанализируйте закон Гесса.
3. Почему тепловой эффект сульфата бария нельзя измерить напрямую?
4. Опишите устройство калориметрической установки?
5. Как определяется тепловой эффект реакции?
6. Как найти теплоту растворения сульфата бария?
7. Зачем взвешивать химический стакан калориметрической установки?
8. Рассчитайте молярные концентрации приготовленных растворов хлорида бария  $BaCl_2$  и сульфата калия  $K_2SO_4$ . Какую массу кристаллогидрата  $BaCl_2 \cdot 2H_2O$  нужно растворить?
9. Почему предварительно растворяют вещества и доводят объем раствора до 20 мл?
10. Что может произойти, если стакан с раствором хлорида бария  $BaCl_2$  не оставить для выравнивания температуры?
11. Почему удельная теплоемкость растворов должна быть равной удельной теплоемкости воды?
12. Почему плотность растворов должна быть равной плотности воды?

#### ■ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

В данной лабораторной работе предлагается определить показатели теплоты раствора сульфата бария. Для этого потребуются взять калориметрическую установку, как это было описано в лабораторной работе № 28. Тепловой эффект химической реакции. Определение теплоты реакции нейтрализации», а ее изготовление - в рекомендациях к данной работе.

Рекомендации к данной лабораторной работе оптимальны в том числе и для определения тепловых эффектов любых процессов растворения труднорастворимых веществ (соответственно, для измерения тепловых эффектов процессов их осаждения).

В частности, для сульфата бария повышение температуры составляет около 1 градуса при соблюдении количества, указанного в методике (0,0126 моль).

При проведении работы как демонстрационной, без количественного определения теплоты растворения, использование калориметрической установки не обязательно, как и взвешивание стаканов, и доведение объема растворов ровно до 20 мл.

Необходимо предварительно взвесить химический стакан калориметрической установки, чтобы более точно рассчитать теплоемкость.

Молярные концентрации приготовленных растворов сульфата калия  $K_2SO_4$  и хлорида бария  $BaCl_2$  равны 0,63 моль/л. Для этого потребуется растворить 3,1 г кристаллогидрата  $BaCl_2 \cdot 2H_2O$ .

Объем раствора не равен сумме объемов воды и растворяемого вещества, для почти насыщенного раствора также нельзя принять объем раствора примерно равным объему воды. Поскольку молярные концентрации рассчитываются на единицу объема раствора, важно зафиксировать конечный объем.

Когда температура одного раствора будет отличаться от температуры другого раствора, то на фоне эффекта от их смешения повышение температуры на градус будет незаметно. Удельные теплоемкости растворов допускается принять равными удельной теплоемкости воды, потому что основную часть растворов составляет вода. Плотность растворов допускается принять равными плотности воды по той причине, что основную



часть растворов составляет вода, поэтому плотность растворов принимается равной плотности воды.

Если говорить о молярной концентрации образующегося раствора сульфата бария  $BaSO_4$ , то она будет равна 0,63 моль/л. Это существенно больше растворимости сульфата бария  $10^{-5}$  моль/л (на 4 порядка). По сравнению с количеством вещества практически весь полученный сульфат бария перейдет в осадок, растворимостью можно пренебречь.

#### ■ ВОПРОСЫ

1. Расскажите, нужно ли перед проведением опыта взвешивать химический сосуд калориметрической установки в пустом и наполненном состоянии и почему?
2. Объясните причины, по которым плотность растворов = плотности воды.
3. Вычислите молярные концентрации растворов сульфата калия  $K_2SO_4$  и хлорида бария  $BaCl_2$ . Назовите массу кристаллогидрата  $BaCl \cdot 2H_2O$ , которую требуется растворить?
4. Объясните причины, по которым технология приготовления раствора объемом 20 мл должна происходить с постепенным смешиванием воды и твердого вещества и никак иначе?

#### Лабораторная работа № 35

### ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ РЕАГИРУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ НА СМЕЩЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ

*Оборудование:* лаборатория с датчиком оптической плотности; дистиллированная вода; кювета для датчика оптической плотности; промывалка; 3 химических стакана объемом 25 мл; 2 мерных цилиндра объемом 10 мл или 2 мерные пипетки объемом 5 мл; 3 стеклянные палочки; мерный цилиндр объемом 25–50 мл; 3 шпателя; кристаллогидрат хлорида железа (III)  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ; кристаллический роданид калия  $KSCN$ ; кристаллический хлорид натрия  $NaCl$ ; 0,01 М раствор роданида калия; 0,01 М раствор хлорида железа (III)  $FeCl_3$ .

*Цель:* исследовать изменение оптической плотности окрашенного раствора в зависимости от введения в реакцию смесь исходного вещества или продукта реакции.

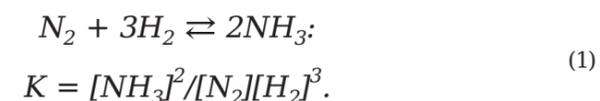
#### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Химическое равновесие при неизменных внешних условиях может сохраняться на длительное время. В окружающей действительности системы испытывают разное воздействие (изменение концентрации реагентов, давления, температуры), которое выводит систему из равновесия. При нарушении равновесия скорость прямой и обратной реакции разная, а в системе протекает процесс, приводящий ее к равновесию, однако это уже при новых условиях. Изменения, которые происходят в системе из-за внешних воздействий, определяются принципом Ле Шателье (принцип подвижного равновесия). Принцип Ле Шателье звучит следующим образом: «Если на систему, которая находится в равновесии, оказывается внешнее воздействие, то равновесие в этой системе сместится в сторону, обратную этому воздействию».

Увеличение реагентов (газообразных или растворенных) смещает равновесие в сторону прямой реакции. Изменение массы твердого вещества не изменяет положение равновесия.

Константа равновесия отражает превалирование продуктов реакции над реагентами.

Выражение для константы равновесия реакции синтеза аммиака:



Если мы добавим в реакцию смесь, к примеру, азот, то концентрация реагента возрастет, знаменатель в выражении для константы равновесия увеличится. Однако значение константы должно быть постоянным, поэтому для выполнения вышеуказанного условия должен



быть увеличен и числитель. Таким образом, в смеси возрастет концентрация аммиака.

#### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подсоединить датчик оптической плотности к планшету или персональному компьютеру.
2. Запустить программу измерений нажать на «Пуск».
3. Для калибровки датчика нужно налить дистиллированную воду в кювету и опустить ее в датчик оптической плотности. По истечении 3 секунд следует нажать кнопку «Сбросить», а затем дождаться нулевого значения (калибровка занимает 5–15 секунд). После окончания калибровки нажать на «Паузу».
4. В стакан налить 3 мл 0,01 М роданида калия и 1 мл 0,01 М раствора хлорида железа (III). Раствор роданида железа разбавить водой в мерном цилиндре до объема 20–25 мл (до слабого красного оттенка).
5. Полученный раствор разлить по 3 химическим стаканам.
6. Из одного стакана с раствором наполнить кювету и поместить ее в датчик оптической плотности. Затем нажать на «Пуск». Подождать установления показаний несколько секунд и нажать на «Паузу». Записать показания.
7. Далее в первый стакан с раствором роданида железа опустить кристаллик роданида калия и перемешать стеклянной палочкой. Отметить интенсивность окраски.
8. Заполнить раствором кювету и установить ее в датчик оптической плотности. Нажать на «Пуск», подождать установления показаний в течение нескольких секунд и нажать на «Паузу». Записать показания.
9. Во второй стакан опустить кристалл хлорида железа (III) и перемешать стеклянной палочкой. Отметить интенсивность окраски.
10. Заполнить раствором кювету и установить ее в датчик оптической плотности. Нажать на «Пуск», подождать установления показаний в течение нескольких секунд и нажать на «Паузу». Записать показания.
11. В каждый стакан поместить кристалл хлорида натрия (1–2 шпателя и перемешать раствор стеклянной палочкой). Отметить интенсивность окраски.
12. Заполнить раствором кювету и установить ее в датчик оптической плотности. Нажать на «Пуск», подождать установления показаний в течение нескольких секунд и нажать на «Паузу». Записать показания.
13. Полученные данные занести в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты измерений оптической плотности

Исследуемая система	Оптическая плотность раствора	Направление смещения химического равновесия
Исходный раствор роданида железа (III)		
Исходный раствор роданида железа (III) + роданид калия		
Исходный раствор роданида железа (III) + хлорид железа (III)		
Исходный раствор роданида железа (III) + хлорид натрия		
Система 2 + хлорид натрия		
Система 3 + хлорид натрия		

#### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое химическое равновесие?
2. Что может произойти, если равновесие в системе нарушится?

3. Сформулируйте принцип Ле Шателье.
4. Поясните принцип Ле Шателье на примере увеличения концентраций продуктов реакции.
5. Запишите уравнение реакции, равновесие которой вы исследовали, в ионном и молекулярном виде.
6. Зачем в п. 4 раствор надо разбавлять? А если его не разбавить, что тогда будет?
7. В каких случаях окраска раствора усилилась, а в каких ослабела?
8. Как на равновесие влияет добавление хлорида железа, роданида калия?

#### ■ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

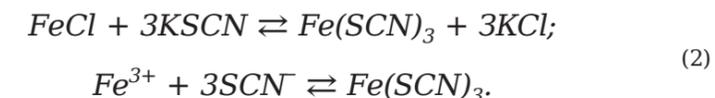
В данной лабораторной работе предлагается проанализировать влияние концентрации реагирующих веществ на смещение химического равновесия. В частности, в п. 4 методических рекомендаций для ученика раствор необходимо разбавить до слабой красно-оранжевой окраски, как показано на рисунке 1.



Рисунок 1.  
Рабочий раствор роданида железа

Чтобы провести работу, целесообразно применять и зеленый светофильтр, однако оправдано учитывать, что значения оптической плотности на длине волны 525 нм будут меньше. В этом случае раствор роданида железа стоит разбавлять не до 20–25 мл, а примерно вдвое (его окраска должна быть интенсивнее).

Уравнение реакции, равновесие которой было исследовано, в молекулярном и ионном виде, будет выглядеть следующим образом:



Образующееся комплексное соединение  $Fe(SCN)_3$  поглощает в синей области спектра (благодаря чему окрашено в красно-оранжевый цвет).

Раствор разбавляют, потому что  $Fe(SCN)_3$  окрашен очень интенсивно, и даже в таких небольших концентрациях оптическая плотность зашкаливает. Если раствор не разбавить, то будет невозможно получить значение его оптической плотности.

Окраска усиливается при добавлении хлорида железа и роданида калия, как показано на рисунках 2а, 2б.

Из чего следует, что это реагент, при этом оптическая плотность растет. При добавлении хлорида натрия окраска ослабевает, как показано на рисунке 2в. Здесь оптическая плотность падает.

Роданид-ион и ион железа – реагенты. Увеличение их концентрации смещает равновесие в сторону прямой реакции (вправо), т. е. в сторону образования окрашенного комплекса.

Роль хлорида натрия сложнее. Если посмотреть на молекулярное уравнение реакции, кажется, что хлорид-ион является продуктом



Рисунок 2.

Изменение окраски рабочего раствора роданида железа при добавлении:  
а) роданида калия, б) хлорида железа, в) хлорида натрия

реакции, и увеличение его концентрации смещает равновесие в сторону обратной реакции (влево). Учитывая, что окраска действительно ослабевает, эта версия, казалось бы, получает подтверждение.

Если внимательно посмотреть на ионное уравнение реакции, легко убедиться, что хлорид-ион в данном равновесии участие не принимает. Его влияние основано на том, что он образует с ионами  $Fe^{3+}$  комплекс  $FeCl_4^-$ , более прочный, чем  $Fe(SCN)_3$ . В реакции образования  $FeCl_4^-$  ионы  $Fe^{3+}$  расходуется, их концентрация понижается, и равновесие сдвигается в сторону их получения, т. е. влево.

Кроме хлорид-ионов, прочные комплексные соединения с  $Fe^{3+}$  образуют фториды, оксалаты, цитраты, так что можно использовать соответствующие соли натрия или калия. Наиболее эффективно действие фторида натрия, так как образующийся фторидный комплекс самый прочный. Следует учитывать, что, во-первых, фторид натрия ядовит, а во-вторых, работа с ним должна проводиться только в пластиковой посуде (плавиковая кислота, выделяющаяся в результате гидролиза фторида, повреждает стекло).

#### ■ ВОПРОСЫ

1. Перечислите причины, по которым окраска исследуемого раствора может оставаться неизменной, а в каких она усиливается, а также расскажите о причинах, которые провоцируют изменение значений оптической плотности.

2. Перечислите причины колебаний равновесия, проанализированной в системе добавления таких веществ, как хлорид железа, хлорид натрия и роданид калия.

#### Лабораторная работа № 36

### ВЛИЯНИЕ ОДНОИМЕННЫХ ИОНОВ НА СМЕЩЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ

**Оборудование:** лаборатория с датчиком  $pH$ ; дистиллированная вода; 3 химических стакана объемом 50 мл; штатив с зажимом; стеклянная палочка; лабораторная промывалка; шпатель; 25 мл 0,1 М раствора уксусной кислоты  $CH_3COOH$ ; фильтровальная бумага; 1 г ацетата натрия кристаллического  $C_2H_3O_2Na$ .

**Цель:** исследовать изменение  $pH$  раствора уксусной кислоты при введении в систему ацетата натрия.

#### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

**Уксусная кислота** – это слабый электролит, частично диссоциирующий на ионы:



При добавлении сильного электролита – ацетата натрия – в раствор уксусной кислоты, концентрация ацетат-ионов  $CH_3COO^-$  увеличивается. В соответствии с принципом Ле Шателье, рост концентрации одного участника химической реакции приведет к смещению равновесия в ту сторону, где концентрация этого участника уменьшится.

#### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подсоединить датчик оптической плотности к планшету или персональному компьютеру.
2. Запустить программу измерений и нажать на «Пуск».
3. Для калибровки датчика нужно налить дистиллированную воду в кювету и опустить ее в датчик оптической плотности. По истечении 3 секунд следует нажать кнопку «Сбросить», а затем дождаться нулевого значения (калибровка занимает 5–15 секунд). После окончания калибровки нажать на «Паузу».
4. В стакан налить 3 мл 0,01 М роданида калия  $KSCN$  и 1 мл 0,01 М раствора хлорида железа (III)  $FeCl_3$ . Раствор роданида железа разбавить водой в мерном цилиндре до объема 20–25 мл (до слабого красного оттенка).
5. Полученный раствор разлить по 3 химическим стаканам.
6. Из одного стакана с раствором наполнить кювету и поместить ее в датчик оптической плотности. Затем нажать на «Пуск». Подождать установления показаний несколько секунд и нажать на «Паузу». Записать показания.
7. Далее в первый стакан с раствором роданида железа  $KSCN$  опустить кристаллик роданида калия и перемешать стеклянной палочкой. Отметить интенсивность окраски.
8. Заполнить раствором кювету и установить ее в датчик оптической



плотности. Нажать на «Пуск», подождать установления показаний в течение нескольких секунд и нажать на «Паузу». Записать показания.

9. Во второй стакан опустить кристалл хлорида железа (III)  $FeCl_3$  и перемешать стеклянной палочкой. Отметить интенсивность окраски.

10. Заполнить раствором кювету и установить ее в датчик оптической плотности. Нажать на «Пуск», подождать установления показаний в течение нескольких секунд и нажать на «Паузу». Записать показания.

11. В каждый стакан поместить кристалл хлорида натрия  $NaCl$  (1-2 шпателя и перемешать раствор стеклянной палочкой). Отметить интенсивность окраски.

12. Заполнить раствором кювету и установить ее в датчик оптической плотности. Нажать на «Пуск», подождать установления показаний в течение нескольких секунд и нажать на «Паузу». Записать показания.

13. Полученные данные занести в таблицу 1.

#### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сформулируйте принцип Ле Шателье.
2. На какие ионы диссоциирует уксусная кислота в растворе? К каким электролитам она относится?
3. К каким электролитам относится ацетат натрия?
4. Как изменяется  $pH$  при добавлении ацетата натрия в раствор уксусной кислоты?
5. Какое значение  $pH$  имеет уксусная кислота? На какие ионы диссоциирует ацетат натрия в растворе?
6. Как влияют одноименные ионы на смещение химического равновесия диссоциации?

#### ■ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

В данной лабораторной работе проведем детальный эксперимент с применением хорошо или умеренно растворимой слабой кислоты. В частности, это может быть лимонная или муравьиная кислота и ее соль. Дополнительно можно использовать хорошо или умеренно растворимое слабое основание (например, аммиаком или аминами) и его соль.

Сухую соль уместно заменить готовым раствором, при этом сократятся затраты времени на перемешивание. Однако эксперимент получается менее наглядным. Чтобы не вынимать датчик  $pH$  при перемешивании и не повредить его, пытайтесь перемешивать соль в его присутствии, опыт рекомендуется проводить на магнитной мешалке. Добавление одноименных ионов подавляет диссоциацию.

Напомним, что раствор уксусной кислоты  $CH_3COOH$  имеет  $pH$  около 3.

Ацетат натрия  $C_2H_3O_2Na$  в растворе диссоциирует на ионы  $Na^+$  и ацетат натрия  $C_2H_3O_2^-$ .

При добавлении ацетата натрия к раствору уксусной кислоты  $pH$  возрастает (при использовании рекомендованных количеств реагентов – примерно до 4), так как увеличение концентрации ацетат-иона смещает равновесие диссоциации уксусной кислоты в сторону молекулярной формы (влево), и концентрация ионов водорода уменьшается.

#### ■ ВОПРОСЫ

1. Назовите уровень  $pH$  уксусной кислоты и его изменения, если к веществу добавить ацетат натрия.
2. Расскажите, на какие ионы диссоциирует ацетат натрия в растворе с уксусной кислотой, а также поясните, как оказывают влияние одноименные ионы на смещение химического равновесия диссоциации.

### Лабораторная работа № 37

## СКОРОСТЬ РЕАКЦИИ, ЕЕ ЗАВИСИМОСТЬ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ

*Оборудование:* лаборатория с датчиком оптической плотности; мерные пипетки или шприцы объемом 2 мл; дистиллированная вода; фильтровальная бумага; промывалка; 0,002 М раствор перманганата калия  $KMnO_4$ ; мерная пипетка объемом 25 мл; этиловый спирт; 2 мерные колбы объемом 50 мл; аптечная пипетка; 20 % раствор соляной кислоты  $HCl$ .

*Цель:* определить скорость химической реакции.

#### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

**Скорость химической реакции** зависит от изменения количества вещества в единицу времени в единице реакционного пространства.

Реакционное пространство – это область, в которой происходит химический процесс: площадь ( $S$ ) для гетерогенных реакций, объем ( $V$ ) для гомогенных.

Отношение количества вещества к единице объема называется молярной концентрацией ( $C$ ). Скорость гомогенной реакции равна изменению концентрации исходного вещества или продукта реакции во времени.

Средняя скорость реакции равна:

$$w = \frac{|C_2 - C_1|}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta C}{\Delta t}, \quad (1)$$

где:

1 и 2 – это начальный и конечный момент времени измерений.

Для гетерогенной реакции скорость реакции определяется с помощью количества веществ, которые вступили в реакцию или образовались из-за реакции в единицу времени на единице поверхности:

$$w = \frac{|v_2 - v_1|}{S(t_2 - t_1)} = \frac{\Delta v}{S \Delta t}. \quad (2)$$

Скорость зависит от концентрации реагентов. Для реакции типа



скорость реакции в каждый момент времени выражается формулой:

$$w = kC_A^n C_B^m. \quad (4)$$



Поэтому по мере расходования реагентов скорость реакции уменьшается. Выражение (3) называется кинетическим уравнением или законом действующих масс.

Так как скорость реакции изменяется со временем, то чем меньше промежуток времени, тем точнее определяется скорость. Когда промежуток времени становится малым, то получается мгновенная скорость реакции.

По графику зависимости концентрации реагентов или продуктов от времени (кинетическая кривая) можно обнаружить скорость реакции.

Мгновенная скорость реакции находится как тангенс угла наклона касательной к кинетической кривой.

Средняя скорость находится, относя разность концентраций ко времени, за которое она изменилась.

Кинетическая кривая получается для реакций превращения окрашенных веществ в бесцветные. Здесь концентрация вещества контролируется по интенсивности его окраски (оптической плотности).

Оптическая плотность – это мера ослабления света прозрачными объектами или отражения света непрозрачными объектами. Световой поток проходит через окрашенную жидкость и частично поглощается. Оставшийся световой поток попадает на фотоэлемент, в котором появляется электрический ток, регистрирующий с помощью амперметра. Чем больше концентрация раствора, тем больше его оптическая плотность и тем больше степень поглощения света, поэтому сила тока меньше. Оптическая плотность и концентрация вещества в растворе прямо пропорционально зависимы.

#### ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подключить датчик оптической плотности к планшету или компьютеру. Запустить программу измерений. Влить дистиллированную воду в кювету и опустить ее в датчик оптической плотности. Нажать на «Пуск». Через 3 секунды нажать на кнопку «Сбросить» и подождать, пока установится нулевое значение (калибровка занимает 5–15 секунд). После окончания калибровки нажать на «Паузу».

2. В химическом стакане развести этиловый спирт с 20 % раствором  $HCl$  один к одному.

3. В кювету влить 2 мл подкисленного спирта при помощи шприца-дозатора или мерной пипетки. Кювету поместить в датчик оптической плотности и нажать на «Пуск». Подождать пока установятся показания.

4. Добавить в кювету 2 мл 0,002 М раствора  $KMnO_4$  при помощи другого шприца-дозатора или мерной пипетки.

5. Пронаблюдать визуальные изменения и изменение оптической плотности на экране. Через 2 минуты нажать на «Паузу». Запечатлеть график.

6. Чтобы построить зависимость оптической плотности от концентрации раствора, в кювету налить с помощью пипетки 2 мл 0,002 М раствора  $KMnO_4$  и нажать на «Пуск», подождать установления показаний. Затем зафиксировать значение оптической плотности и нажать на «Паузу».

7. Повторить п. 6, поместив в кювету 1 мл 0,002 М раствора  $KMnO_4$  и 1 мл дистиллированной воды; 1 мл раствора  $KMnO_4$  и 2 мл воды.

8. Построить градуировочный график, который представляет зависимость оптической плотности от концентрации раствора, при этом нужно включить нулевую точку. Четыре точки должны располагаться на одной прямой. В случае обнаружения отклонений от прямой необходимо приготовить дополнительные градуировочные растворы иных концентраций и уточнить прямую.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Скорость химической реакции – это ...
2. Молярная концентрация – это ...

3. Реакционное пространство – это ...
4. Как определяется средняя скорость реакции для гетерогенных и гомогенных процессов?
5. Как зависит скорость реакции от концентрации реагентов?
6. Кинетическая кривая – это ...
7. Как и почему изменяется скорость реакции со временем?
8. Оптическая плотность – это ...
9. Как найти скорость реакции по графику зависимости концентрации участвующих в реакции веществ от времени?
10. Напишите уравнение изучаемой реакции.
11. Рассчитайте значения концентраций  $KMnO_4$  в растворах, указанных в п. 7.
12. Постройте градуировочный график.
13. На графике изменения оптической плотности раствора в процессе реакции отметьте момент начала реакции.
14. Чему равна концентрация  $KMnO_4$  в момент начала реакции?
15. Определите мгновенные скорости реакции по  $KMnO_4$  на начальном участке, в конце и в середине.
16. Как меняется скорость реакции по мере ее протекания?

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

В данной лабораторной работе выполним экспериментальное определение скорости химической реакции. Однако перед проведением опыта напомним, что следует крайне обстоятельно придерживаться порядка сливания реагентов.

Необходимо приливать исключительно раствор перманганата калия к подкисленному спирту. Если порядок действий нарушен, результирующий раствор хуже перемешивается, что негативно отражается на достоверности результатов.

Отдельно отметим, что по графику изменения оптической плотности проблематично определить концентрацию перманганата в первый момент после сливания растворов.

Вместо соляной кислоты для подкисления спирта можно взять серную кислоту вдвое меньшей концентрации.

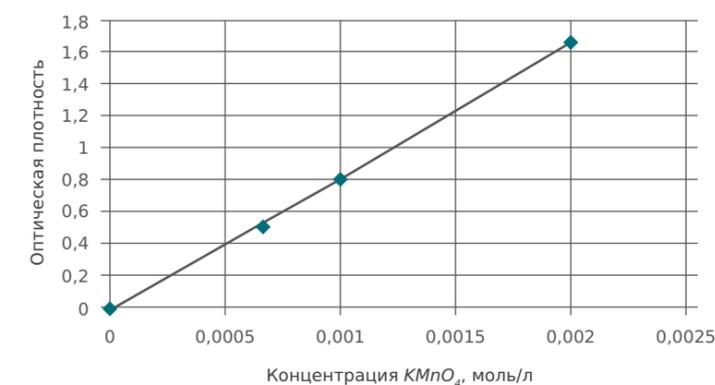


Рисунок 1.  
Примерный вид градуировочного графика (зависимости оптической плотности раствора  $KMnO_4$  от его концентрации)

График, как показано на рисунке 1, обязательно должен проходить через нулевую точку и представлять собой прямую линию. Если отклонения от прямой значительны, то в измерениях либо в приготовлении растворов была допущена ошибка, градуировочный график надо уточнить.

На рисунке 2 видно, что подкисленный спирт имеет нулевую оптическую плотность. При приливании перманганата в начальный момент оптическая плотность скачком повышается (перманганат-ион поглощает



в зеленой области спектра), а затем по мере протекания реакции и расходования перманганата постепенно уменьшается.

Выполняя расчет концентраций, важно обратить внимание, что после сливания равных объемов (по 2 мл) все концентрации уменьшаются вдвое, т.е. из исходного 0,002 М раствора перманганата при сливании получается раствор с концентрацией 0,001 М.

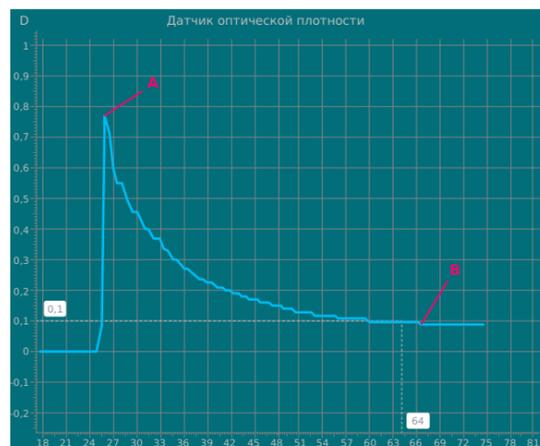


Рисунок 2.

График изменения оптической плотности в процессе реакции  $KMnO_4$  со спиртом: А – момент начала реакции; В – момент, после которого оптическая плотность в течение 10 с остается постоянной (условный конец реакции)

Рассмотрим рисунок 2. В момент начала реакции оптическая плотность равна 0,78. По градуировочному графику, что видно на рисунке 1 это соответствует чуть меньшему значению, чем 0,001 М. Разница может объясняться погрешностью при сливании малых объемов раствора.

Как видно из рисунка 2, оптическая плотность на конечном участке графика составляет 0,09, что соответствует по градуировочному графику 0,000135 М.

Изменение концентрации  $0,001 - 0,000135 = 0,000865$  М. Время  $66,5 - 26 = 40,5$  с. Средняя скорость реакции по  $KMnO_4 > 4 \cdot 0,000865 / 40,5 = 2,14 \cdot 10^{-5}$  М/с.

Для определения мгновенной скорости следует выбрать небольшие линейные участки и найти для них значения тангенса угла наклона (не забыв пересчитать единицы оптической плотности в концентрации).

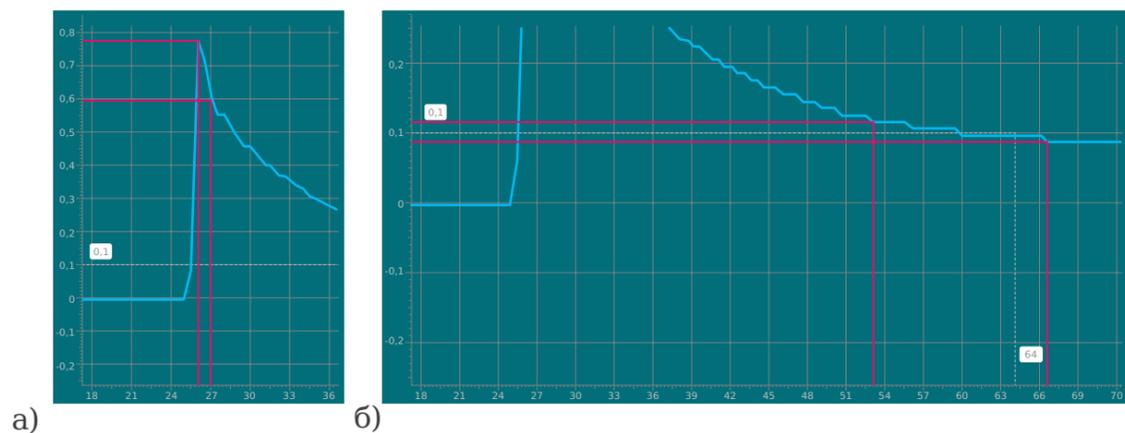


Рисунок 3.

Нахождение мгновенной скорости реакции по:  
а) начальному, б) конечному участку графика изменения оптической плотности

Например, на начальном участке (рисунок 3а) изменение оптической плотности равно  $0,78 - 0,60 = 0,18$ , что по градуировочному графику соответствует  $0,000243$  М, а время  $27 - 26 = 1$  с, т.е. мгновенная скорость по  $KMnO_4$  в начале равна  $2,43 \cdot 10^{-4}$  М/с. В конце реакции (рисунок 3б) изменение оптической плотности  $0,12 - 0,09 = 0,03$ , т.е. изменение концентрации  $6,35 \cdot 10^{-5}$  М; время  $66,5 - 53 = 13,5$  с; мгновенная скорость по  $KMnO_4$   $4,70 \cdot 10^{-6}$  М/с.

Скорость реакции уменьшается, так как по мере протекания реакции концентрации реагентов уменьшаются.

Отметим, что в обсуждении этой работы приведены лишь примеры экспериментальных данных и расчетов по ним. Результаты полученных исследований могут сильно отличаться.

Связано это с тем, что при приготовлении и сливании столь малого количества растворов велики относительные погрешности в значениях концентраций. В работе делается акцент на освоение методов практического определения средней и мгновенной скорости реакции, а не на детальное изучение кинетики конкретного процесса.

## ■ ВОПРОСЫ

1. Разработайте самостоятельно или с учителем график зависимости оптической плотности от концентрации раствора, включая нулевую точку. После чего перенесите на него значения плотности раствора в процессе протекания реакции, а также обозначьте на нем момент начала реакции.
2. Дайте ответ, чему будет равна концентрация  $KMnO_4$  в момент начала реакции. Определите среднюю скорость реакции по  $KMnO_4$  на участке от ее начала до того момента, после которого оптическая плотность в течение 10 с будет оставаться постоянной.
3. Перечислите изменения, которые происходят в процессе протекания реакции.
4. Перечислите моментальные скорости реакции по  $KMnO_4$  на старте, в конце и в середине графика.



## Лабораторная работа № 38

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ РЕАГЕНТОВ

*Оборудование:* цифровая лаборатория с датчиком оптической плотности; кювета; мерные пипетки или пипетка Мора или шприцы объемом 2 мл; дистиллированная вода; мерная колба объемом 50 мл; мерная пипетка объемом 5 мл; 0,01 М раствор щавелевой кислоты  $H_2C_2O_4$ , 0,006 М раствор дихромата калия  $K_2Cr_2O_7$  или 0,002 М раствор перманганата калия  $KMnO_4$ .

*Цель:* изучить зависимость скорости химической реакции от концентраций реагентов.

### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Скорость химической реакции зависит от концентрации реагентов. Для реакции следующего типа:



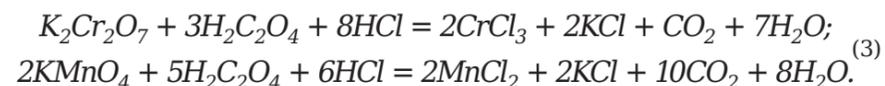
скорость реакции в каждый момент времени выражается формулой

$$w = kC_A^n C_B^m. \quad (2)$$

Уравнение (2) – это кинетическое уравнение или закон действующих масс, а величины  $n$  и  $m$  – это порядок реакции по веществам  $A$  и  $B$  соответственно.

Если реакция проходит в одну стадию, точно соответствующую ее записи, порядки реакции равны стехиометрическим коэффициентам при  $A$  и  $B$ . Но зачастую реакция имеет многостадийный, сложный механизм. В таких случаях порядок реакций можно определить только лишь экспериментальным путем. Если зафиксировать концентрацию  $A$  в момент избытка и варьировать концентрацию  $B$ , то линейная (прямо пропорциональная) зависимость скорости реакции от концентрации  $B$  будет свидетельствовать о первом порядке по  $B$ , квадратичная зависимость – о втором порядке по  $B$ , а отсутствие зависимости (постоянство скорости реакции) – о нулевом порядке по  $B$ .

Реакции с цветными реагентами, к примеру, с дихроматом калия или перманганатом калия, выглядят следующим образом:



Скорость можно контролировать по изменению оптической плотности из-за расхода реагентов.

### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подключить датчик оптической плотности к планшету или компьютеру. Запустить программу измерений.
2. Налить дистиллированную воду в кювету и опустить ее в датчик оптической плотности. Нажать на «Пуск». По истечении 3 секунд нажать на кнопку «Сбросить» и подождать пока установится нулевое значение (калибровка занимает 5–15 секунд). После калибровки нажать на «Паузу».
3. Влить в кювету при помощи пипетки или шприца 2 мл раствора перманганата калия или дихромата калия и поместить ее в датчик оптической плотности. Нажать на «Пуск». Подождать пока показания датчика будут незначительно изменяться.
4. При помощи другой пипетки или шприца влить в кювету 2 мл 0,01 М раствора щавелевой кислоты  $H_2C_2O_4$ .
5. Проследить скачок показаний. После чего подождать пару секунд и нажать на «Паузу». Зафиксировать график.
6. Промыть кювету.
7. Налить в кювету 0,5 мл дистиллированной воды и 1,5 мл раствора перманганата калия или дихромата калия. Поместить ее в датчик оптической плотности и нажать на «Пуск». Подождать пока показания датчика станут стабильными.
8. При помощи другой пипетки или шприца влить в кювету 2 мл 0,01 М раствора щавелевой кислоты. Проследить скачок показаний. После чего подождать пару секунд и нажать на «Паузу». Зафиксировать график. Промыть кювету.
9. Налить в кювету 1 мл дистиллированной воды и 1 мл раствора перманганата калия или дихромата калия. Поместить ее в датчик оптической плотности и нажать на «Пуск». Подождать пока показания датчика станут стабильными. Далее снова при помощи другой пипетки или шприца влить в кювету 2 мл 0,01 М раствора щавелевой кислоты. Проследить скачок показаний. После чего подождать пару секунд и нажать на «Паузу». Зафиксировать график. Промыть кювету.
10. Налить в кювету 1,5 мл дистиллированной воды и 0,5 мл раствора перманганата калия или дихромата калия. Поместить ее в датчик оптической плотности и нажать на «Пуск». Подождать пока показания датчика станут стабильными. Далее снова при помощи другой пипетки или шприца влить в кювету 2 мл 0,01 М раствора щавелевой кислоты. Проследить скачок показаний. После чего подождать пару секунд и нажать на «Паузу». Зафиксировать график. Промыть кювету.
11. Отобрать мерной пипеткой или пипеткой Мора 5 мл 0,01 М раствора щавелевой кислоты, поместить в мерную колбу, долить воду до 50 мл.
12. Налить в кювету 2 мл раствора перманганата калия или дихромата калия. Поместить ее в датчик оптической плотности и нажать на кнопку «Пуск». Подождать пока показания датчика станут стабильными. Далее снова при помощи другой пипетки или шприца, влить в кювету 2 мл 0,01 М раствора щавелевой кислоты. Проследить скачок показаний. После чего подождать пару секунд и нажать на кнопку «Пауза». Зафиксировать график. Промыть кювету.
13. В химических стаканах приготовить по 10 мл растворов щавелевой кислоты разбавлением полученного в п. 11 раствора в 1,5 раза, 2 раза, 4 раза. Использовать мерные пипетки.
14. Повторить п. 12 с растворами щавелевой кислоты, полученными в п. 13.

### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое кинетическое уравнение?
2. Как зависит скорость химической реакции от концентраций реагентов?
3. Что такое порядок реакции по данному реагенту?
4. Как экспериментальным путем определить порядок реакции по данному реагенту?



5. Вычислите для каждого опыта концентрацию реагентов сразу после сливания растворов. Занесите данные в таблицу 1.

Таблица 1

№ опыта	Концентрация $K_2Cr_2O_7$ , или $KMnO_4$ , моль/л	Концентрация $H_2C_2O_4$ , моль/л	Начальная оптическая плотность	Оптическая плотность через 1 с	Изменение оптической плотности за 1 с
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					

6. Рассмотрите графики зависимости оптической плотности от времени для разных опытов. В каждом опыте в момент скачка определите изменение оптической плотности за 1 секунду. Занесите данные в таблицу 1.

7. Постройте график зависимости изменения оптической плотности за 1 секунду от концентрации дихромата калия (перманганата калия). Определите порядок реакции по этому реагенту.

8. Постройте график зависимости изменения оптической плотности за 1 секунду от концентрации щавелевой кислоты. Определите порядок реакции по щавелевой кислоте.

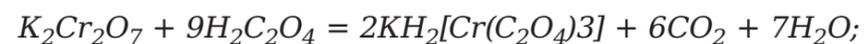
9. Почему порядки реакции по реагентам не совпадают со стехиометрическими коэффициентами при реагентах?

#### ■ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

В данной лабораторной работе проведем опыты по определению вида кинетического управления. Для этого потребуется использовать в работе перманганат калия. В качестве альтернативы допускается применение зеленого светофильтра с длиной волны в 525 нм. Однако для такой ситуации оптическая плотность растворов указанной концентрации может зашкаливать, и концентрацию исходного раствора перманганата калия следует уменьшить.

Обратите внимание на то, что первоначальные концентрации растворов для первой серии опытов выбраны так, чтобы щавелевая кислота находилась в избытке, а во второй серии – в недостатке. Вместе с тем указанные значения оптических плотностей должны попадать в диапазон чувствительности датчика.

В химических реакциях, которые были представлены выше, участвует соляная кислота. Для проведения эксперимента соляная кислота не добавляется, щавелевая кислота сама дает достаточно кислую среду для протекания реакции. Уравнения реакций без участия соляной кислоты выглядят сложно и неоднозначно:



Из-за чего целесообразно использовать при обсуждении со слабыми группами обучающихся упрощенный вариант, приведенный в методических указаниях.

Реакция протекает быстро (за одну-две секунды). Поэтому в подмену датчика необходимо установить режим снятия данных не менее двух точек в секунду. В области скачка выбирается линейный участок и определяется изменение оптической плотности за 1 секунду. Эта величина прямо пропорциональна скорости реакции (поскольку существует прямо пропорциональная зависимость между оптической плотностью и концентрацией окрашенного реагента).

Таблица 1

№ опыта	Концентрация $K_2Cr_2O_7$ , или $KMnO_4$ , моль/л	Концентрация $H_2C_2O_4$ , моль/л	Начальная оптическая плотность	Оптическая плотность через 1 с	Изменение оптической плотности за 1 с
1	0,00/0,001	0,005	1,72/0,53	0,86/0,25	0,86/0,28
2	0,00225/0,00075	0,005	1,41/0,41	0,75/0,22	0,66/0,19
3	0,0015/0,0005	0,005	0,88/0,26	0,47/0,12	0,41/0,14
4	0,00075/0,00025	0,005	0,42/0,09	0,23/0,02	0,19/0,07
5	0,003/0,001	0,0005	1,78/0,54	0,92/0,27	0,86/0,27
6	0,003/0,001	0,000375	1,75/0,55	1,00/0,27	0,75/0,28
7	0,003/0,001	0,00025	1,80/0,55	0,90/0,26	0,90/0,29
8	0,003/0,001	0,000125	1,73/0,55	0,93/0,29	0,80/0,26

При расчете концентраций следует помнить, что после сливания равных объемов (по 2 мл) все концентрации уменьшаются вдвое.

В таблице 1 приведен пример экспериментальных данных. Очевидно, что реальные значения оптической плотности могут отличаться.

Графики по данным таблицы 1 изображены на рисунке 1.

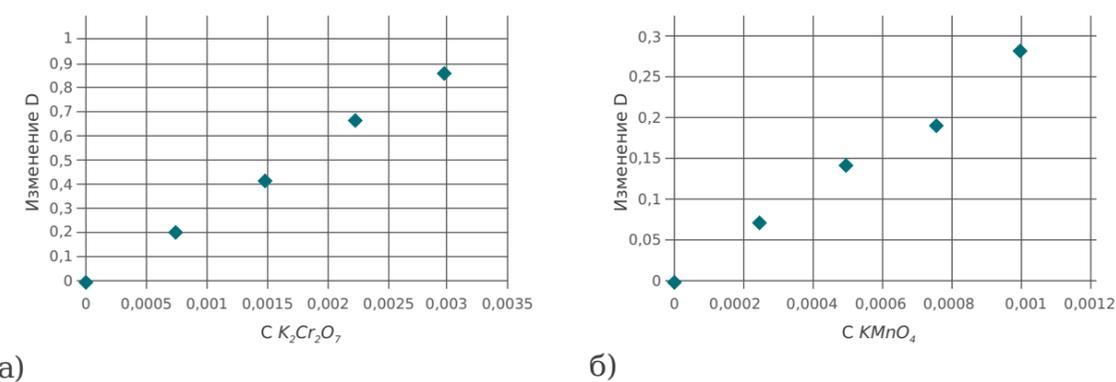


Рисунок 1.

Графики зависимости изменения оптической плотности за 1 секунду от концентрации дихромата калия (а) и перманганата калия (б) в реакции с щавелевой кислотой

Как для дихромата, так и для перманганата наблюдается линейная зависимость скорости реакции (изменения оптической плотности) от концентрации. Следовательно, реакция имеет первый порядок по дихромату или перманганату.

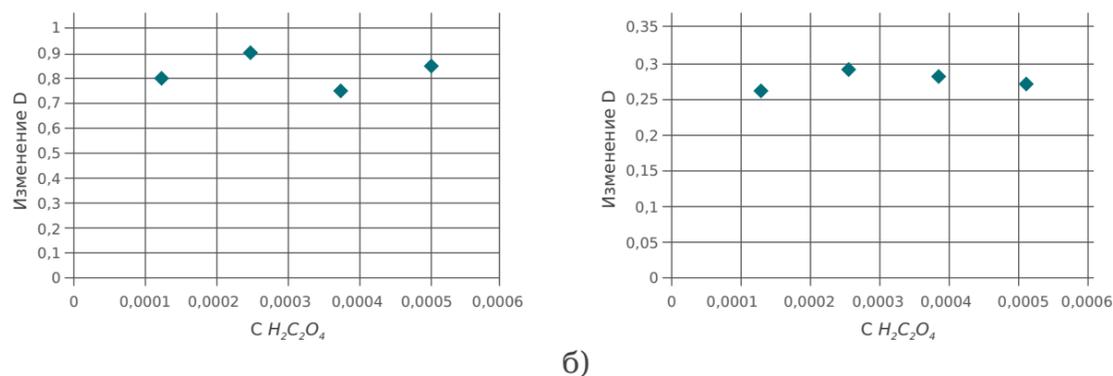


Рисунок 2.

Графики зависимости изменения оптической плотности за 1 секунду от концентрации щавелевой кислоты для реакции: а) с дихроматом калия, б) с перманганатом калия

Графики по данным таблицы 1 изображены на рисунке 2.

Во всех ситуациях скорость реакции (изменение оптической плотности) не зависит от концентрации щавелевой кислоты. Следовательно, реакция имеет нулевой порядок по щавелевой кислоте.

Потому что реакция имеет сложный, многостадийный механизм, как показано ниже:



Допустима также запись:



## ВОПРОСЫ

1. Выполните корректные расчеты по каждому веществу эксперимента концентрации реагентов в момент после сливания растворов, а полученные значения отобразите в таблице 1.
2. Детально изучите график зависимости оптической плотности от времени для разных опытов. По каждому из них в момент скачка выявите колебания оптической плотности за 1 секунду, полученные значения отобразите в таблице 1.
3. Разработайте самостоятельно или с учителем кривую зависимости колебаний оптической плотности за 1 секунду от концентрации перманганата калия. Объясните полученные значения.
4. Назовите причины, по которым порядок реакции по реагентам не синхронен с стехиометрическими коэффициентами при реагентах.

## Лабораторная работа № 39

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ЭФФЕКТОВ РАСТВОРЕНИЯ ВЕЩЕСТВ В ВОДЕ

**Оборудование:** лаборатория с датчиком температуры; 2 химических стакана объемом 50 мл; лабораторные весы; стеклянная палочка; промывалка с дистиллированной водой; 2 шпателя; нитрат аммония  $NH_4NO_3$ ; гидроксид натрия  $NaOH$  кристаллический.

**Цель:** определить тепловой эффект растворения нитрата аммония и гидроксида натрия.

## ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

**Растворение вещества** – это сложное физическое и химическое явление. При растворении твердых веществ происходят два процесса с противоположным энергетическим эффектом:

- 1) Рвутся связи между частицами растворяемого вещества (рушится кристаллическая решетка) и между молекулами растворителя, что в свою очередь требует затрат энергии (энергия кристаллической решетки).
- 2) Образуются связи между растворенными частицами и молекулами растворителя, в результате чего выделяется энергия (энергия гидратации).

В связи с этим растворение твердого вещества может быть экзо- и эндотермическим процессом.

Если энергия разрушения кристаллической решетки меньше энергии гидратации растворенного вещества, то при растворении выделяется теплота (прослеживается разогревание). К примеру, растворение  $NaOH$  – это экзотермический процесс, потому что на разрушение кристаллической решетки тратится 884 кДж/моль, а при образовании гидратированных ионов  $Na^+$  и  $OH^-$  выделяется 422 и 510 кДж/моль.

Если энергия кристаллической решетки больше энергии гидратации, то при растворении теплота поглощается (температура снижается).

Тепловой эффект растворения вещества – это энергия, выделяемая при растворении единицы количества вещества. В зависимости от того, тепловой эффект какого из двух процессов (гидратация частиц или разрушение кристалла) преобладает, общий тепловой эффект растворения может быть отрицательной или положительной величиной.

## ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подключить датчик лаборатории «Химия» к компьютеру или ноутбуку в соответствии с руководством пользователя ПО «Цифровая лаборатория». Запустить программу измерений.
2. Подключить к мультидатчику щуп датчика температуры.
3. В химический стакан налить 25 мл дистиллированной воды, опустить в стакан датчик температуры. В течение нескольких секунд дождаться установления показаний и зафиксировать показания температуры.
4. Насыпать в стакан 3 г  $NaOH$  и перемешать датчиком температуры до его растворения. В течение нескольких секунд дождаться



установления показаний и зафиксировать показания температуры.

5. Вынуть датчик из стакана и промыть его дистиллированной водой.
6. Во второй химический стакан налить 25 мл дистиллированной воды, опустить в стакан датчик температуры. В течение нескольких секунд дождаться установления показаний и зафиксировать показания температуры.
7. Насыпать в стакан 3 г мелкокристаллического нитрата аммония и перемешать датчиком температуры до его растворения. В течение нескольких секунд дождаться установления показаний и зафиксировать минимальное значение температуры.
8. Полученные результаты занести в таблицу 1.

Таблица 1

Температура, °C	Исследуемая система		
	Дистиллированная вода	Вода + NaOH	Вода + NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>

#### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объясните процесс растворения вещества.
2. Почему при растворении одних веществ в воде выделяется теплота, а при растворении других – она поглощается?
3. Тепловой эффект растворения вещества – это ...
4. Растворение NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> – это экзотермический или эндотермический процесс?
5. Почему тепловые эффекты растворения NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> и NaOH имеют знаки «+» и «-»?
6. Растворение газов сопровождается выделением или поглощением тепла?
7. Приведите пример вещества, растворение которого сопровождается тепловым эффектом. Какой знак будет иметь тепловой эффект?

#### ■ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

В данной лабораторной работе предлагаем проанализировать и определить тепловые эффекты растворения веществ в воде. В частности, когда возникла необходимость выявить точные значения тепловых эффектов:

- Реактивы следует взвешивать с точностью до второго знака после запятой.
- Воду следует отмерять цилиндром и проводить растворение в калориметрической установке, описанной в работе № 28 «Тепловой эффект химической реакции. Определение теплоты реакции нейтрализации».
- В химический стакан калориметрической установки следует помещать твердое вещество.
  - Магнитную мешалку нужно включать сразу добавления воды.
  - Перемешивание проводится, таким образом, не датчиком, а магнитной мешалкой.

Если соблюдены все пропорции, указанные в методике, рост температуры при растворении NaOH составляет около 8 °C, понижение температуры при растворении NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> – около 6 °C, как показано на рисунке 1. Установление температуры происходит в течение 1 минуты.

Объем твердых веществ можно варьировать в зависимости от вида работы. Для демонстрационного эксперимента лучше, чтобы вещества было больше. В этом случае заметнее тепловой эффект, как показано на рисунке 2.

Слишком много брать вещества не нужно, так как растворимость любого твердого вещества ограничена. В данном случае с точным расчетом теплового эффекта или для исследовательской работы нельзя брать много вещества, так как оно должно успеть быстро раствориться, пока

потери тепла из-за неидеальности теплоизоляции не стали значительными.

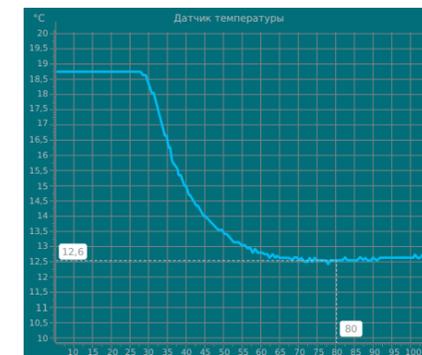


Рисунок 1.

Понижение температуры при растворении нитрата аммония

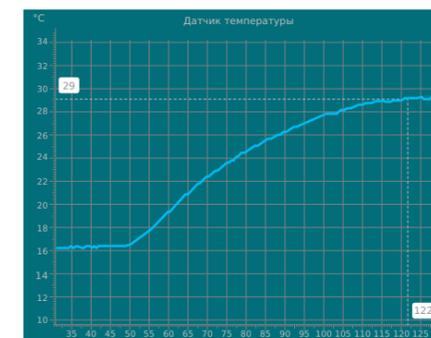


Рисунок 2.

Повышение температуры на 13 °C при растворении большего количества NaOH по сравнению с методикой

Использование слишком малого количества вещества приведет к малому повышению температуры и, как следствие, к высокой относительной погрешности. При проведении исследовательских работ желательно сделать несколько экспериментов с разным количеством вещества.

По данной методике можно определять тепловые эффекты растворения любых твердых веществ, а также жидкостей.

- NaOH – экзотермическое растворение;
- NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> – эндотермическое растворение.

NaOH имеет не слишком прочную кристаллическую решетку, а ионы, входящие в его состав, хорошо гидратируются. У NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> все наоборот.

Отметим, что хорошо гидратируются маленькие ионы (притяжение диполей воды к иону тем выше, чем меньше его радиус и чем больше заряд). Поэтому при гидратации крупных многоатомных ионов выделяется существенно меньше тепла. На самом деле в этом заключается основная причина различия между гидроксидом натрия и нитратом аммония, кристаллические решетки у обоих этих веществ не очень прочны.

Растворение газов экзотермично. Ведь у них нет кристаллической решетки, на разрушение которой тратилась бы энергия.

Так, серная кислота (растворение сильно экзотермично,  $Q > 0$ ). Возможны другие примеры.

Оценивание – существенно более сложное действие, чем расчет, поэтому данное задание имеет смысл выполнять только с сильными группами. Поскольку работа проводилась без калориметра, то произошло рассеивание тепла, значит, реальный тепловой эффект будет выше



значения, полученного при оценке. Оценка объема воды может быть произведена на глаз, так как известен объем стакана и видно, какую часть стакана занимает вода. Для оценки массы вещества следует взвесить примерно такое же количество вещества, как было взято (или преподаватель может облегчить задачу, сообщив, сколько вещества он использовал). Теплоемкость раствора следует считать примерно равной теплоемкости воды, а плотность раствора – равной плотности воды.

Тепловой эффект должен быть представлен в единицах кДж/моль.

#### ■ ВОПРОСЫ

1. Растворение  $NaOH$  и  $NH_4NO_3$  можно отнести к экзотермическим или эндотермическим процессам и почему их тепловые эффекты имеют именно данные знаки?
2. Сопровождается ли выделением/поглощением тепла растворение большинства газов? Обоснуйте свой ответ.
3. Назовите одно или несколько веществ, которые при процессе растворения выделяют тепло.
4. Проанализируйте показатели тепловых эффектов растворения  $NaOH$  и  $NH_4NO_3$ , учитывая колебания температур во время процесса. Существует ли соотношение этих значений фактических с полученными в ходе эксперимента?

### Лабораторная работа № 40

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ ГИДРАТАЦИИ С ПОМОЩЬЮ КАЛОРИМЕТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

*Оборудование:* лаборатория с датчиком температуры; лабораторный штатив с 2 лапками; лабораторные весы; магнитная мешалка; лопаточка или шпатель; керамическая или металлическая подставка; 3 стакана объемом 50 мл; широкий стакан объемом 250–500 мл; фарфоровая чашка; тигельные щипцы; спиртовка; плитка или сухое горючее; стеклянная палочка; теплоизолирующий стакан и крышка с 2 отверстиями; мерный цилиндр объемом 25–50 мл; лабораторная промывалка; дистиллированная вода; твердый пентагидрат сульфата меди(II)  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ; фильтровальная бумага.

*Цель:* определить тепловой эффект гидратации безводной соли (превращение соли в кристаллогидрат).

#### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

При растворении твердого вещества в воде происходит два процесса: гидратация и разрушение его кристаллической решетки. Но в кристаллогидратах ионы уже находятся в гидратированном состоянии, поэтому вклад гидратации в растворение кристаллогидрата очень маленький (при растворении кристаллогидрата дальнейшая гидратация практически не протекает).

$Q$  растворения безводного вещества –  $Q$  разрушения кристаллической решетки +  $Q$  гидратации;

$Q$  растворения кристаллогидрата –  $Q$  разрушения кристаллической решетки.

На основании закона Гесса следует, что  $Q$  гидратации =  $Q$  растворения безводного вещества –  $Q$  растворения кристаллогидрата.

Поэтому можно найти теплоту гидратации, т. е. тепловой эффект превращения безводной соли в кристаллогидрат, определив теплоту растворения безводной соли и соответствующего кристаллогидрата. Безводную соль можно получать из кристаллогидрата прокаливанием.

#### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Рассчитать массу 0,025 моль  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ , занести ее в таблицу 1. Взвесить фарфоровую чашку и стакан, записать их массы.

Таблица 1

Результаты взвешивания

Масса стакана, кг	
Масса чашки, кг	
Масса 0,025 моль кристаллогидрата, кг	
Масса 0,025 моль безводной соли, кг	



2. Взвесить 2 порции по 0,025 моль  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ . Первую порцию взвесить с помощью фарфоровой чашки, вторую порцию – с помощью предварительно взвешенного стакана.

3. Прокалить первую порцию  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  в фарфоровой чашке для получения безводного вещества, придерживая чашку тигельными щипцами и аккуратно помешивая стеклянной палочкой. Отметить наблюдаемые изменения.

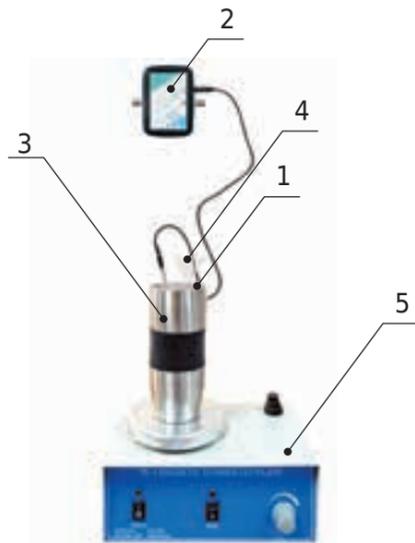


Рисунок 1.

Схема калориметрической установки для измерения теплоты растворения сульфата бария: 1 – крышка, 2 – температурный датчик, 3 – щуп датчика, 4 – стеклянная воронка, 5 – магнитная мешалка

4. После нагревания поставить чашку остывать на керамическую или металлическую подставку, накрыть ее широким стаканом.

5. Собрать установку (см. рисунок 1).

6. В стакан с кристаллогидратом положить якорь магнитной мешалки, поместить данный стакан в теплоизолирующий стакан, который стоял на магнитной мешалке, закрыть его термоизолирующей крышкой с отверстиями для щупа датчика и воронки.

7. Подключить датчик лаборатории «Химия» к компьютеру или ноутбуку в соответствии с руководством пользователя ПО «Цифровая лаборатория». Запустить программу измерений.

8. Подключить к мультидатчику щуп датчика температуры.

9. С помощью цилиндра отмерить 25 мл воды. Опустить в воду щуп датчика. Когда показания температуры перестанут колебаться, занести начальное значение температуры в таблицу 2.

10. Вынуть из стакана температурный щуп, высушить его фильтровальной бумагой и закрепить в калориметрической установке. Нажать на «Пуск» и влить с помощью воронки воду, включить магнитную мешалку. Наблюдать за температурой до конца ее изменений. Нажать на «Паузу». Записать отличающуюся температуру в таблицу 2.

11. Промыть щуп дистиллированной водой и высушить фильтровальной бумагой. Вынуть из стакана калориметрической установки якорь магнитной мешалки, помыть и высушить. Заменить старый стакан новым и поместить в него якорь.

12. Взвесить фарфоровую чашку с остывшей безводной солью, найти массу соли.

13. Насыпать в стакан калориметрической установки безводную соль и закрыть крышкой.

14. Повторить пп. 7–10.

15. Промыть щуп дистиллированной водой и высушить фильтровальной бумагой. Вытащить из стакана калориметрической установки якорь магнитной мешалки, вымыть и высушить.

16. Рассчитать и записать в таблицу 2 тепловые эффекты растворения кристаллогидрата и безводного вещества, используя следующую формулу:

$$Q = \sum c(t_2 - t_1), \quad (1)$$

где:

$t_1$  – начальная температура системы;

$t_2$  – конечная температура системы;

$\sum c$  – суммарная теплоемкость системы.

Суммарная теплоемкость системы рассчитывается по формуле

$$\sum c = C_{p-ра} m_{p-ра} + C_{ст} m_{ст}, \quad (2)$$

где:

$C_{p-ра}$  – удельная теплоемкость полученного раствора, которая равна удельной теплоемкости воды 4,19 кДж/(кг К);

$m_{p-ра}$  – масса полученного раствора, кг (плотность раствора равна плотности воды – 1000 кг/м<sup>3</sup>);

$C_{ст}$  – удельная теплоемкость стекла – 0,75 кДж/(кг К);

$m_{ст}$  – масса стакана, кг.

17. Рассчитать и записать тепловой эффект гидратации безводного вещества в кДж/моль.

Таблица 2

Результаты эксперимента

Вещество	Температура		Тепловой эффект в кДж	Тепловой эффект в кДж/моль
	начальная, $t_1$	после нейтрализации, $t_2$		
Кристаллогидрат				
Безводная соль				

#### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите процессы растворения. Что происходит с теплотой в каждом процессе?

2. Сформулируйте закон Гесса.

3. Как получить безводную соль из кристаллогидрата?

4. Как найти теплоту гидратации, зная тепловые эффекты кристаллогидрата и растворения безводной соли?

5. Какой процесс наблюдается при нагревании кристаллогидрата?

6. Как определить, что кристаллогидрат перешел в безводную соль?

7. Сколько моль безводной соли получается после прокаливания кристаллогидрата?

8. Рассчитайте массу безводной соли, которая должна получиться из кристаллогидрата.

9. Является ли растворение кристаллогидрата эндотермическим или экзотермическим процессом?



## ■ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

10. Является ли растворение безводной соли эндотермическим или экзотермическим процессом?

В данной лабораторной работе предлагаем повторить пройденный материал, изложенный в лабораторной работе № 28 «Тепловой эффект химической реакции. Определение теплоты реакции нейтрализации». Подготовительный процесс к предстоящим опытам изложен в рекомендациях для преподавателя к этой работе.

Прогрев медного купороса следует проводить аккуратно:

- если его перегреть, то белая безводная соль разлагается дальше с образованием черного  $CuO$ ;
- лучше прокаливать постепенно и равномерно;
- чтобы остудить безводные соли после прокаливания, можно использовать эксикатор (например, с конц. серной кислотой), при его наличии.

Кроме сульфата меди  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  при проведении опыта можно использовать другие кристаллогидраты:

- Сульфат кобальта(II) –  $CoSO_4 \cdot 7H_2O$ ;
- Никель сернокислый –  $NiSO_4 \cdot 7H_2O$ ;
- Хлорид кобальта (II) –  $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ ;
- Хлорид никеля(II) –  $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ ;
- Карбонат натрия –  $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$ ;
- Глауберова соль –  $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ ;

а также модифицировать работу как исследовательскую.

Отметим, что медный купорос меняет цвет с сине-голубого на белый, для кристаллогидратов солей никеля и кобальта также меняется цвет. Кроме того, над чашкой наблюдается конденсация выделившегося водяного пара. Для кристаллогидратов солей натрия это будет единственным признаком реакции.

Чтобы понять, что кристаллогидрат уже перешел в безводную соль, необходимо обратить внимание на цвет. Он больше не меняется; если снять чашку с кристаллогидратом с нагревательного прибора и накрыть стеклом, на нем не осаждаются капельки воды.

После прокаливания кристаллогидрата теоретически в безводной соли остается столько же, сколько было кристаллогидрата, т. е. 0,025 моль.

Чтобы рассчитать массу безводной соли, которая получится из кристаллогидрата, нужно понять, что причин несоответствия может быть несколько. Часть вещества могла быть просыпана при неаккуратном перемешивании. Если таких потерь нет, то реальная масса выше теоретической говорит о том, что вещество прокалили не до конца, а ниже теоретической – о том, что вещество перегрели, и началось дальнейшее разложение безводной соли.

Чтобы прогрев был равномерным, кристаллогидрат при прокаливании помешивают стеклянной палочкой.

Чашку после прокаливания ставят на керамическую или металлическую подставку для того, чтобы не испортить поверхность стола контактом с горячей чашкой.

Чашку во время остывания накрывают стаканом, поскольку при охлаждении на воздухе безводная соль может поглотить из него пары воды и снова частично превратиться в кристаллогидрат, поэтому необходимо перекрыть доступ воздуха.

Безводную соль охлаждают до комнатной температуры прежде чем проводить с ней опыты по той причине, что когда соль и вода имеют одинаковые температуры, результат получается точнее. Если у них разные температуры, то необходимо считать начальную температуру как средневзвешенную (учитывая разные массы). Кроме того, температуру твердого вещества довольно сложно определить щупом из-за недостаточного контакта.

Растворение кристаллогидрата, как правило, эндотермическое, так как гидратация почти не происходит, а на разрушение кристаллической решетки энергия тратится. Впрочем, за счет остаточной гидратации иногда возможен слабый экзотермический эффект.

Растворение безводной соли, склонной к образованию кристаллогидратов, экзотермическое, потому что происходит интенсивная гидратация.

Теплота гидратации положительна. Энергия при гидратации выделяется, так как образуются связи между ионами вещества и молекулами воды, а образование связей – всегда энергетически выгодный процесс (в противном случае они бы не образовывались).

## ■ ВОПРОСЫ

1. Какие процессы можно наблюдать при нагреве кристаллогидрата, можно ли понять, что данное вещество трансформировалось в безводную соль, и объясните, почему вещество при нагреве необходимо помешивать стеклянным стилусом?

2. Назовите точное число моль безводной соли после прокаливания кристаллогидрата и поясните, в процессе растворения вещества происходит экзотермический или эндотермический процесс?

3. Нужно ли остужать безводную соль до комнатной температуры перед проведением опыта и почему емкость в момент остывания вещества необходимо герметично закрывать?

4. Назовите массу безводной соли, что получится из кристаллогидрата, а также сравните полученные значения с фактическими. Детализируйте свой ответ.

5. Напишите знак, которым обозначается теплота гидратации.



## Лабораторная работа № 41

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ pH РАСТВОРОВ СОЛЕЙ

**Оборудование:** лаборатория с датчиком pH; лабораторный штатив с зажимом; химические стаканы объемом 25–50 мл по числу исследуемых солей; дистиллированная вода; лабораторная промывалка; фильтровальная бумага; по 25 мл двух-трех 0,1 М растворов из перечня: гидрокарбонат, карбонат, сульфит, фосфат, ацетат натрия; по 25 мл двух-трех 0,1 М растворов из перечня: хлориды, сульфаты или нитраты меди (II) ( $CuCl_2$ ,  $CuSO_4$ ,  $Cu(NO_3)_2$ ), железа (III) ( $FeCl_3$ ,  $Fe_2(SO_4)_3$ ,  $Fe(NO_3)_3$ ), никеля (II) ( $NiCl_2$ ,  $NiSO_4$ ,  $Ni(NO_3)_2$ ), железа (II) ( $FeCl_2$ ,  $Fe_2SO_4$ ,  $Fe(NO_3)_2$ ), кобальта (II) ( $CoCl_2$ ,  $CoSO_4$ ,  $Co(NO_3)_2$ ), хрома (III) ( $CrCl_3$ ,  $Cr_2(SO_4)_3$ ,  $Cr(NO_3)_3$ ), цинка ( $ZnCl_2$ ,  $ZnSO_4$ ,  $Zn(NO_3)_2$ ), свинца (II) ( $PbCl_2$ ,  $PbSO_4$ ,  $Pb(NO_3)_2$ ), марганца (II) ( $MnCl_2$ ,  $MnSO_4$ ,  $Mn(NO_3)_2$ ).

**Цель:** измерить pH растворов солей, изучить их направленность и степень гидролиза.

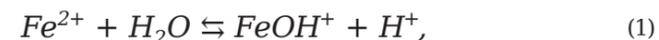
### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

При растворении в воде большинство солей изменяют реакцию среды с нейтральной на щелочную или кислую. Это происходит из-за взаимодействия между молекулами воды и ионами соли. Данный процесс называется гидролизом солей.

Выделяют 3 типа гидролиза:

- гидролиз по аниону (в реакцию с водой вступает анион);
- гидролиз по катиону (в реакцию с водой вступает катион);
- совместный гидролиз (в реакцию с водой вступают катион и анион).

В соли, которая была образована слабым основанием и сильной кислотой (к примеру, хлорид железа (II)  $FeCl_2$ ), гидролизу подвергается катион:

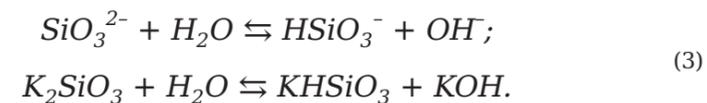


или в молекулярной форме:



По результату гидролиза образуется слабый электролит ( $FeOH^+$ ) и ион  $H^+$ . Тем самым раствор приобретает кислую реакцию: pH раствора < 7.

Соль, которая была образована сильным основанием и слабой кислотой (к примеру, метасиликат калия  $K_2SiO_3$ ), подвергается гидролизу по аниону. По результату образуется слабый электролит ( $HSiO_3^-$ ) и гидроксид-ион  $OH^-$ :



Значение pH растворов > 7 (раствор приобретает щелочную реакцию). Соль, которая была образована сильным основанием и сильной кислотой (к примеру, бромид калия  $KBr$ ), не будет подвергаться гидролизу, потому что слабый электролит не образуется. У таких растворов pH = 7, реакция среды нейтральная.

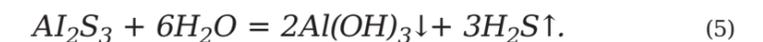
Соль, которая была образована слабым основанием и слабой кислотой (к примеру, ацетат аммония  $CH_3COONH_4$ ), гидролизуется по катиону и по аниону. В результате образуются малодиссоциирующие основание и кислота:



Уровень pH растворов солей зависит от относительной силы кислоты и основания. Реакция таких растворов может быть слабощелочной, нейтральной или слабокислой.

Гидролиз соли – это обратимая обменная реакция. Ее важной характеристикой является степень гидролиза – отношение количества гидролизованной соли к общему количеству соли, введенной в раствор.

Гидролиз может протекать необратимо, если соль образована слабым нерастворимым основанием и слабой нерастворимой или малорастворимой кислотой, например:



### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. С датчика pH снять защиту, при помощи промывалки сполоснуть его нижнюю часть дистиллированной водой, далее высушить фильтровальной бумагой.
2. Подключить датчик лаборатории «Химия» к компьютеру или ноутбуку в соответствии с руководством пользователя ПО «Цифровая лаборатория». Запустить программу измерений.
3. Подключить к мультидатчику датчик pH.
4. В химический стакан налить 25 мл 0,1 М раствора карбоната натрия и погрузить в него датчик pH на 3 см. Нажать на «Пуск». В течение нескольких секунд подождать установления показаний и нажать на «Паузу».
5. Занести полученные данные в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты измерений pH

Исследуемый раствор	pH	Уравнение гидролиза

6. Вынуть электрод из раствора, вымыть водой из промывалки и высушить фильтровальной бумагой.
7. Повторить п. 4 для гидрокарбоната натрия  $NaHCO_3$ , хлорида железа (II)  $FeCl_2$ , хлорида железа (III)  $FeCl_3$  и других солей.

### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое гидролиз солей? Перечислите типы гидролиза.
2. Какие соли подвергаются гидролизу по катиону, по аниону?
3. Какие соли подвергаются гидролизу по катиону и по аниону?
4. Какие соли не подвергаются гидролизу?
5. В каких случаях гидролиз необратим?
6. Напишите ионные уравнения гидролиза.
7. Объясните для каждого вещества, почему гидролиз протекает именно по этому H-иону.
8. Какая соль – карбонат или гидрокарбонат натрия – подвергается гидролизу в большей степени?
9. Какой ион –  $Fe^{3+}$  или  $Fe^{2+}$  – гидролизуется в большей степени?



## ■ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

В данной лабораторной работе предлагаем сравнить степень гидролиза карбоната и гидрокарбоната, солей железа (II) и железа (III). Дополнительно можно исследовать и другие соли.

Обратим внимание и на ацетат аммония – соль, образованная слабой кислотой и слабым основанием. Несмотря на сильный гидролиз,  $pH$  близок к 7 из-за того, что сила кислоты и основания практически одинаковая. Однако раствор фторида аммония, также образованного слабой кислотой и слабым основанием, имеет слабокислую среду (плавиковая кислота сильнее, чем аммиак).

С сильной группой можно исследовать растворы фосфата, гидрофосфата и дигидрофосфата (или сульфита и гидросульфита). Дигидрофосфат и гидросульфит имеют не слабощелочную среду, а слабокислую. Это говорит о том, что данные ионы не подвергаются гидролизу, а наоборот, диссоциируют с образованием ионов  $H^+$ .

Отметим также, что понятия «сильная» и «слабая» кислота относительны. Например, фосфорная и сернистая кислота считаются слабыми, но скорее их следует отнести к «средним» электролитам. Последовательные ступени их диссоциации значительно отличаются по силе:

- по первой ступени диссоциация идет в большой степени;
- по второй (и третьей) – на несколько порядков меньше.

По этой причине кислый ион, образующийся на первой ступени диссоциации кислоты, в данных случаях не подвергается гидролизу.

Примерные значения  $pH$  0,1 М растворов приведены в таблице 1.

Таблица 2

Значения  $pH$  растворов

Соль	$pH$	Примечание
$Na_2CO_3$ Карбонат натрия	11,7	
$NaHCO_3$ Гидрокарбонат натрия	9,7	
$Na_2SO_3$ Сульфит натрия	10,1	
$NaHSO_3$ Гидросульфит натрия	4,1	Идет диссоциация иона, а не его гидролиз
$Na_3PO_4$ Ортофосфат натрия	12,7	
$Na_2HPO_4$ Гидрофосфат натрия	10,1	
$NaH_2PO_4$ Дигидрофосфат натрия	4,1	Идет диссоциация иона, а не его гидролиз
$CH_3COONa$ Ацетат натрия	8,9	
$NaF$ Фторид натрия	8,1	
$Na_2SiO_3$ Метасиликат натрия	12,9	
$FeCl_3$ Хлорид железа (III)	5,6	
$FeCl_2$ Хлорид железа (II)	1,6	
$CuSO_4$ Сульфат меди (II)	4,3	
$NiSO_4$ Сульфат никеля	5,2	
$CoSO_4$ Сульфат кобальта	5,3	
$MnSO_4$ Сульфат марганца	5,8	
$ZnSO_4$ Сульфат цинка	5,3	
$Pb(NO_3)_2$ Нитрат свинца (II)	3,7	
$Cr(NO_3)_3$ Нитрат хрома	2,5	
$Al(NO_3)_3$ Нитрат алюминия	3Д	
$MgCl_2$ Хлорид магния	6,2	
$NH_4Cl$ Хлорид аммония	5,1	

## ■ ВОПРОСЫ

Если анализировать такие соли, как карбонат и гидрокарбонат натрия, то именно карбонат гидролизуется в большей степени. Это можно заключить из того, что  $pH$  раствора карбоната выше, значит, в нем больше концентрация  $OH^-$ . Причина большей степени гидролиза карбоната в том, что угольная кислота (как и любая другая) по второй ступени диссоциирует хуже, чем по первой. Это значит, что равновесие диссоциации угольной кислоты по второй ступени (и равновесие гидролиза карбоната) сильнее смещено в сторону недиссоциированной формы, чем равновесие диссоциации угольной кислоты по первой ступени (и равновесие гидролиза гидрокарбоната).

Анализируя, какой ион –  $Fe^{3+}$  или  $Fe^{2+}$  – гидролизуется в большей степени, то можно сделать вывод о том, что именно сильнее гидролизуется ион  $Fe^{3+}$ . Это можно заключить из того, что  $pH$  раствора  $Fe^{3+}$  ниже, чем раствора  $Fe^{2+}$ . Причина этого в том, что более высокозарядный ион интенсивнее взаимодействует с диполями воды. Можно описать причину по-другому:  $Fe(OH)_2$  более сильное основание, чем  $Fe(OH)_3$ . Это, в свою очередь, обусловлено более сильным взаимодействием трехзарядного иона с гидроксид-ионом, чем двухзарядного.

1. Объясните, какая из солей карбонат или гидрокарбонат натрия в большей мере подвержены процессу гидролиза, а также расскажите, по каким признакам это очевидно?

2. Объясните, какой из данных ионов:  $Fe^{3+}$  или  $Fe^{2+}$ , будет гидролизоваться в большей степени? Детализируйте свой ответ.



## Лабораторная работа № 42

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА СТЕПЕНЬ ГИДРОЛИЗА СОЛЕЙ

**Оборудование:** химический стакан объемом 50 мл; электроплитка; 0,01 М раствор хлорида железа (III)  $FeCl_3$  или сульфата меди  $CuSO_4$ ; датчик pH.

**Цель:** установить степень влияния температуры на гидролиз соли.

### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

**Гидролиз** – обменная реакция взаимодействия соли с водой, которая приводит к смещению равновесия диссоциации воды и к изменению кислотности среды.

Соли, которые были образованы сильными кислотами и сильными основаниями, не подвергаются гидролизу. Гидролизу подвергаются те соли, ионы которых способны связывать  $H^+$  или  $OH^-$  в слабодиссоциирующие соединения, т. е. это соли, образованные слабыми основаниями или (и) слабыми кислотами. Гидролиз происходит из-за того, что равновесие диссоциации слабого основания или слабой кислоты справедливо безотносительно к тому, записано оно слева направо или справа налево.

К примеру:



При нахождении в растворе ацетата натрия ацетат-ионы взаимодействуют с ионами  $H^+$ , образуясь в результате обратимой диссоциации воды, и связываются с ними в молекулы уксусной кислоты, до равновесия. При этом получается избыточное количество свободных ионов  $OH^-$ , и раствор приобретает щелочную среду.

В основном гидролиз солей протекает обратимо. Глубина его протекания характеризуется степенью гидролиза – это отношение количества соли, которая вступила в реакцию гидролиза, к общему количеству соли в растворе.

### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. С датчика pH снять защитный колпачок, с помощью промывалки сполоснуть его нижнюю часть дистиллированной водой и высушить фильтровальной бумагой.
2. Подключить датчик лаборатории «Химия» к компьютеру или ноутбуку в соответствии с руководством пользователя ПО «Цифровая лаборатория». Запустить программу измерений.
3. Подключить к мультидатчику датчик pH.
4. Закрепить датчик pH в лапке штатива.
5. В химический стакан налить 25 мл 0,01 М раствора хлорида железа (III) или сульфата меди, поставить его на электроплитку.
6. Опустить в раствор датчик pH и запустить программу. Включить электроплитку и нажать на «Пуск».

### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

7. Семь минут наблюдать за изменением окраски раствора и pH. Далее нажать на «Паузу».

1. Гидролиз – это ...
2. Что такое степень гидролиза?
3. Объясните причину протекания гидролиза.
4. Какие соли могут и какие не могут подвергаться гидролизу?
5. Какую среду приобретет раствор в результате гидролиза соли, образованной слабым основанием и сильной кислотой? Сильным основанием и слабой кислотой?

### ■ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

В данной лабораторной работе предлагаем изучить не только хлорид железа (III) или сульфата меди. Но и включить в лабораторные опыты любую соль сильной кислоты и слабого основания. Вместе с тем не для всякой соли признаки усиления гидролиза легко заметить визуально. Применение соли сильного основания и слабой кислоты не приведет к желаемому результату измерения – рост pH в результате увеличения степени гидролиза компенсируется снижением pH в результате увеличения степени диссоциации воды при нагревании.

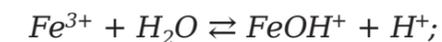
Чтобы корректно построить график зависимости pH от температуры, желательно использовать обычный термометр. При контакте датчика pH и датчика температуры через солевой раствор наблюдается конфликт показаний.

При комнатной температуре раствор  $FeCl_3$  молярной массой 0,01 М имеет pH – 2,1; раствор  $CuSO_4$  молярной массой 0,01 М – 4,8. Он полностью соответствует кислой среде.

Степень гидролиза увеличивается при нагревании, так как гидролиз – это эндотермический процесс.

Такую среду данный раствор имеет потому, что гидроксид железа (III) и гидроксид меди (II) – слабые основания, и их соли подвергаются гидролизу, связывая ионы  $OH^-$  и оставляя в растворе свободные ионы  $H^+$ .

Далее рекомендуем ознакомиться с уравнениями процесса гидролиза, который определяет реакцию среды в ионной форме. Выглядеть такие уравнения будут следующим образом:



Изучите внимательно примерный график зависимости pH от времени, который показан на рисунке 1, убедитесь в том, что при нагревании раствора pH уменьшается.

При нагревании происходят заметные визуальные изменения с раствором. В частности, раствор хлорида железа темнеет и мутнеет, раствор сульфата меди мутнеет.

Визуальные изменения в растворе и изменение pH свидетельствуют об образовании малорастворимых основных солей в результате гидролиза. Уменьшение pH говорит об усилении кислотности среды, т. е. об увеличении степени гидролиза.



## ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ

## Лабораторная работа № 43

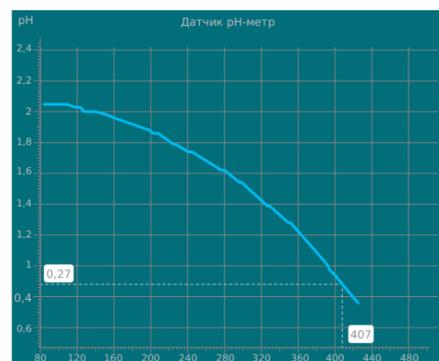


Рисунок 1.  
Зависимость pH от времени при нагревании раствора  $FeCl_3$

## ВОПРОСЫ

1. Напишите уровень pH сульфата меди, если данный раствор имеет комнатную температуру.
2. Какая среда характера для гидроксида железа? Укажите правильно формулу процесса гидролиза, определяющего реакцию среды, в ионной форме.
3. Учитывая значения графика, как показано на рисунке 1, объясните изменения pH от времени.
4. Что происходит с раствором в процессе его нагревания? Детализируйте свой ответ.
5. Существует ли какая-то взаимосвязь степени гидролиза от температуры? Детализируйте свой ответ.

## ОЦЕНКА ОБЩЕЙ ЖЕСТКОСТИ ВОДЫ

**Оборудование:** лаборатория с датчиком электропроводности; штатив лабораторный с зажимом; три стакана химических объемом 100–150 мл; цилиндр мерный; промывалка лабораторная; вода дистиллированная; бумага фильтровальная; вода водопроводная (сырая и кипяченая).

**Цель:** оценить (сравнить) общую жесткость в исследуемых образцах воды.

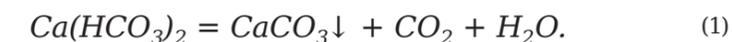
## ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Для определения жесткости воды анализируют ее характеристики и свойства. Такое состояние жидкости связано с превышением в составе катионов щелочных компонентов. Как правило, в такой воде превышено содержание химических элементов кальция и магния.

Благодаря посторонним включениям жидкость имеет специфический вкус. При этом употреблять ее в организм не рекомендуется. Из-за высокого содержания солей калия и магния в почках могут образовываться камни и песок, существенно ухудшается состояние зубов, кожи и волос человека. При использовании для бытовых нужд такой воды можно заметить, что при нагревании она образует жесткий налет на дне посуды и нагревательных приборов. При этом полностью очищенную от данных примесей воду также не рекомендуется употреблять на постоянной основе. Полностью очищенная вода способствует вымыванию кальция, что отрицательно сказывается на костной ткани и зубах человека. Оптимальная жесткость воды для регулярного употребления в пищу должна быть не выше 2 мг-экв/л.

Принято подразделять обозначенную жесткость на категории: постоянную и временную. При постоянной жесткости в жидкости присутствуют сульфаты минералов, при временной – гидрокарбонаты обозначенных выше минералов.

Для нейтрализации жесткости воды используется специальная технология умягчения, которая подразумевает нагревание жидкости. Во время термической обработки минеральные компоненты выпадают в твердый осадок, что неразрывно связано с выделением диоксида углерода:



Нередко для улучшения качества воды используются химические реакции. В частности, для умягчения жесткой воды применяют гидроксид кальция  $Ca(OH)_2$ , карбонат натрия  $Na_2CO_3$ , гидроксид натрия  $NaOH$ , ортофосфат натрия  $Na_3PO_4$  и др.

В качестве альтернативы могут применяться такие способы нейтрализации жесткости, которые основаны на использовании катионов. В частности, жесткая вода, которая проходит через обозначенные смолы, в процессе фильтрации теряет минеральные добавки, которые замещаются на ионы натрия и водорода.



Современная практика очищения воды такова, что наиболее часто для этих целей используется метод мембран, предполагающий проведение электродиализа.

Чтобы понять степень жесткости разных образцов воды, используется метод электропроводности, который позволяет определить предельно точные значения ее качества, а также точное содержание других минеральных примесей.

#### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Перед началом эксперимента необходимо аккуратно начисто протереть нижнюю панель датчика электропроводности. Для этих целей подойдет очищенная вода, остатки влаги необходимо убрать сухой безворсовой салфеткой.

2. Плотно зафиксировать датчик электропроводности в панели штатива.

3. Выполнить установку и подключение цифрового мультидатчика к виртуальной лаборатории «Химия», четко следуя установленным инструкциям ПО «Цифровая лаборатория».

4. Включить подсчет измерительных значений «Цифровая лаборатория».

5. Присоединить к мультидатчику щуп индикатора электропроводности.

6. В специально подготовленную колбу налить нужный объем неочищенной воды, погрузить вышеуказанный датчик, нажать на клавишу «Пуск», стараясь не касаться прибора и колбы влажными руками.

7. Получить точные значения жесткости воды, после чего нажать на клавишу «Пауза» и внести полученные данные в таблицу 1.

8. Извлечь из колбы индикатор электропроводности, очистить рабочую емкость и тщательно высушить от остатков воды.

9. Провести повторные измерения по пп. 5-7 для дистиллированной и водопроводной кипяченой воды.

Таблица 1

Результаты измерений

	Образцы воды		
	Дистиллированная	Водопроводная сырая	Водопроводная кипяченая
Электропроводность, мкСм			

#### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что собой представляет жесткая вода?
2. Раскройте содержание понятий постоянная, общая, временная жесткость воды?
3. Насколько вредна или полезна для организма чрезмерно жесткая вода?
4. Можно ли употреблять в пищу воду, которая полностью лишена ионов жесткости?
5. По какой причине воду, имеющую временную жесткость, называют именно такой? Какие компоненты входят в ее состав, а также как ликвидировать временную жесткость?
6. Что нужно сделать для устранения постоянной жесткости воды. Какие методы используются для этого?
7. Можно ли определить жесткость воды, используя метод электропроводности и почему?
8. Какой из образцов воды характеризуется минимальной жесткостью? Почему?
9. Какой из образцов воды характеризуется максимальной жесткостью? Почему?
10. Как зависит электропроводность от общей жесткости воды? Почему?

#### ■ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

В данной лабораторной работе предлагаем провести комплексную оценку жесткости воды. В частности, для этого необходимо повторить понятие о единице электропроводности (мкСм). Сименс (единица системы СИ) – величина, в которой измеряется проводимость участка электрической цепи. Проводимость, величина, обратная сопротивлению, измеряющемуся в Омах.

Напомним, что из ряда образцов тестируемой воды минимальная жесткость у дистиллированной воды. При дистилляции в воде не остаются никаких солей.

Электропроводность дистиллированной воды равна 0. Долго стоявшая на воздухе дистиллированная вода может иметь электропроводность до 15–20 мкСм за счет поглощения углекислого газа и частичной диссоциации образовавшейся угольной кислоты.

Чтобы понять, у какого образца воды максимальная жесткость, необходимо учесть и проанализировать все возможные варианты. Если в образце воды преобладает временная жесткость, то при кипячении она удалается, и максимальное значение жесткости будет иметь вода из-под крана. Если преобладает постоянная жесткость, то за счет выкипания воды концентрация ионов кальция и магния увеличивается, и максимальную жесткость имеет кипяченая вода.

Электропроводность водопроводной воды около 200 мкСм (может отличаться в зависимости от источника). После кипячения может измениться в ту или другую сторону на 100–150 мкСм.

Чтобы определить электропроводность жесткой воды от общей жесткости, нужно запомнить, что чем больше жесткость, тем выше электропроводность, так как больше концентрация ионов – носителей электрического заряда.

#### ■ ВОПРОСЫ

1. Назовите один или несколько образцов воды, которые были проанализированы в лабораторной работе, имеющий наиболее низкий/высокий уровень жесткости. Перечислите причины такого явления.
2. Существует ли взаимосвязь между электропроводностью и жесткостью воды? Обоснуйте свой ответ.



## Лабораторная работа № 44

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА ( $Fe^{2+}$ , $Fe^{3+}$ ) В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ

**Оборудование:** лаборатория с датчиком оптической плотности; кювета для датчика оптической плотности; 3 колбы мерные объемом 50 мл; промывалка лабораторная; вода дистиллированная; 0,1 М раствор тиоцианата калия  $KSCN$ ; 0,001 М раствор хлорида железа (III)  $FeCl_3$ ; концентрированная азотная кислота  $HNO_3$ ; пипетка аптечная или стеклянная трубочка; две пипетки мерные объемом 2 мл; пипетки мерные или пипетки Мора объемом 5 и 25 мл; пробы воды.

**Цель:** оценить (сравнить) общую жесткость в исследуемых образцах воды.

### ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

поглощается. Оставшийся световой луч отражается на фотоэлементе, на котором образуется электрический ток, фиксирующий показания с помощью амперметра. Соответственно, при максимальной концентрации примесей степень поглощения луча света предельная, а показания на амперметре являются минимальными.

1. Предварительно подготовьте 2 градуированных состава. Для этого необходимо отобрать мерной пипеткой или пипеткой Мора 5 мл 0,001 М раствора  $FeCl_3$ , перелить его в мерную колбу объемом 50 мл, добавить воды до метки и хорошо перемешать. После отобрать мерной пипеткой или пипеткой Мора 25 мл полученного раствора поместить его в мерную колбу объемом 50 мл, добавить жидкости до метки и хорошо перемешать.

2. Подключить прибор оптической плотности к ПК или планшету. Включить специальную программу для замера данных.

3. Чтобы настроить датчик, необходимо добавить дистиллированную воду в кювету и поместить ее в датчик оптической плотности. Запустить программу. Выждав 2-3 секунды, сбросить показания с помощью специальной клавиши и выждать время для определения показателей на отметке 0. Вся работа по калибровке занимает не более 15 секунд. До окончания процесса калибровки нельзя вынимать кюветы из датчика. Затем нажать кнопку «Пауза».

4. В кювету налить с помощью мерной пипетки 2 мл первого градуировочного раствора, добавить с помощью аптечной пипетки или стеклянной трубочки одну каплю концентрированной азотной кислоты, и с помощью другой мерной пипетки – 0,5 мл 0,1 М раствора роданида калия.

5. Запустить оборудование с помощью клавиши «Пуск», дать время для определения данных, записать определенные значения с помощью клавиши «Пауза».

6. Выполнить повторные измерения по пп. 4-5 со вторым градуировочным раствором.

7. Выстроить градуировочный график, который должен продемонстрировать зависимость оптической плотности от концентрации примесей в растворе, в том числе не забывая о нулевых значениях измерений. Все три полученные в ходе опытов значения должны располагаться на одной прямой. Если выявлены существенные колебания от прямой, необходимо приготовить дополнительные градуировочные растворы других концентраций и уточнить прямую.

8. Повторить пп. 4-5 с исследуемыми образцами воды.

9. Учитывая полученные значения измерений, необходимо определить нужные концентрации, которые отвечают выявленным показателям оптической плотности для анализируемых образцов воды.

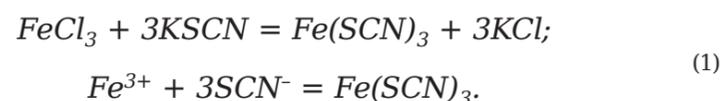
### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В каком виде может содержаться железо в воде?
2. Назовите предельно допустимые включения железа в составе воды.
3. Почему повышенное содержание железа в воде нежелательно?
4. С помощью какого реактива определяют ион  $Fe^{3+}$ ? Каков признак реакции?
5. Дайте определение понятию «оптическая плотность».
6. Назовите взаимосвязь между оптической плотностью и концентрацией железа в воде.
7. Из каких процессов складывается растворение? Что происходит с теплотой в каждом из этих процессов?
8. Почему вклад гидратации в растворение кристаллогидрата очень мал?
9. Как найти теплоту гидратации, зная тепловые эффекты растворения безводной соли и кристаллогидрата?

### ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Нередко в самых разнообразных образцах воды можно обнаружить ионы железа как в восстановленной  $Fe^{2+}$ , так и в окисленной форме  $Fe^{3+}$ . Вода, содержащая восстановленное железо, отличается хорошей прозрачностью. Однако при контакте с кислородом в жидкости начинается процесс окисления, который и придает воде мутность и желтоватый оттенок. В том числе мутность воды повышается при ее термической обработке. Однако предельно разрешенные показатели железа в воде не должны превышать отметки в 0,3 мг/л. Возрастание этого показателя часто становится причиной образования темных пятен на бытовых сантехнических устройствах, одежде. Если в воде значения железа превышают показатель в 1 мг/л, жидкость приобретает не только характерный бурый оттенок, но и специфический запах. Такую жидкость запрещено употреблять в пищу, пригодна она только для бытовых нужд.

Чтобы вычислить значения иона  $Fe^{3+}$  в жидкости, используют чувствительную (предел обнаружения железа 0,02 мг/л) реакцию с роданидом калия или аммония:



Образующееся комплексное соединение  $Fe(SCN)_3$  имеет ярко-красную окраску. Стоит сказать, что такая реакция демонстрирует чувствительность исключительно к иону  $Fe^{3+}$ , чтобы выявить в жидкости примесь в форме иона  $Fe^{2+}$ , рабочую жидкость необходимо доокислять. Сделать это можно с помощью концентрата азотной кислоты, которую добавляют в воду в малом количестве.

Чтобы определить точную концентрацию соединений, рационально использовать оптический метод анализа растворов.

Метод оптической плотности – мера ослабления света прозрачными объектами или отражения света непрозрачными объектами. Луч света, который проходит сквозь замутненную воду, не в полной мере



10. Как получить безводную соль из кристаллогидрата?
11. Цель построения градуировочного графика.
12. Зачем для построения градуировочного графика нужно использовать как минимум два градуировочных раствора?
13. Для чего могут понадобиться дополнительные градуировочные растворы?
14. Рассчитайте предельно допустимую концентрацию железа и предел его обнаружения с помощью роданида в моль/л.
15. Рассчитайте концентрации градуировочных растворов в моль/л.
16. Зачем добавлять в воду азотную кислоту?
17. Найдите концентрацию ионов железа в исследуемых образцах по градуировочному графику. Превышают ли они ПДК?

#### ■ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

В данной лабораторной работе предлагаем определить содержание железа в природных водах. Для этого, учитывая значения от предполагаемого содержания железа в образцах воды, можно корректировать концентрации градуировочных растворов.

Оптимально, когда содержание железа должно находиться между значениями концентраций градуировочных растворов. Для серийных исследований стоит построить градуировочную прямую по 4-5 точкам (не забывая, что прямая должна также проходить через нулевую точку).

Анализировать нужно свежие пробы воды. При стоянии на воздухе часть железа может выпасть в осадок в виде основных солей железа (III).

Напомним, что градуировочный график нужен для того, чтобы найти соответствие между концентрацией раствора и оптической плотностью. Заранее коэффициент пересчета между этими величинами неизвестен, его можно определить только экспериментально.

Применение двух градуировочных растворов дает ясно понять, ложатся ли эти две точки вместе с нулевой точкой на прямую. Зависимость между концентрацией раствора и оптической плотностью прямо пропорциональная, как показано на рисунке 1. Если три упомянутые точки не легли на прямую, то в измерениях либо в приготовлении растворов допущена ошибка, градуировочный график надо уточнить.

Дополнительные градуировочные растворы необходимы для уточнения градуировочного графика в случае, если не получена четкая прямая.

Чтобы рассчитать предельно допустимые концентрации иона железа, необходимо:  $0,0054$  ммоль/л, т. е.  $5,4 \cdot 10^{-6}$  М. Предел визуального обнаружения  $0,00036$  ммоль/л, или  $3,6 \cdot 10^{-7}$  М.

Азотную кислоту добавляют к растворам для окисления ионов  $Fe^{2+}$  до  $Fe^{3+}$ . Ионы  $Fe^{2+}$  не дают окраску с роданидом.

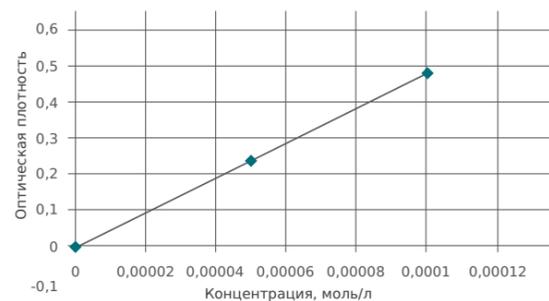


Рисунок 1.  
Пример градуировочной прямой

#### ■ ВОПРОСЫ

1. Объясните, почему при построении градуированного графика нужно использовать минимум 2 градуированных раствора, а также расскажите причины, по которым может потребоваться еще дополнительный раствор.
2. Объясните причины, по которым к растворам принято добавлять азотную кислоту.

### Лабораторная работа № 45

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ ПОКАЗАТЕЛЯ pH СРЕДСТВ ЛИЧНОЙ ГИГИЕНЫ

*Оборудование:* ноутбук и датчик pH; чистая вода; мерные стаканы (4 шт.) с растворами геля для душа различных марок; стаканы с дистиллированной водой (3 шт.).

*Цель:* освоение методики определения pH, значение этих методов.

#### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

**Кислотно-щелочное равновесие (КЩР) раствора** – это соотношение кислот и щелочей. Однако физиологи настаивают на применении иного термина – кислотно-щелочное состояние. Для количественного отображения КЩР используется показатель pH (*power Hydrogen*), демонстрирующий долю атомов активного водорода в растворе. Если pH равен 7,0, то это нейтральная среда. С понижением показателя pH повышается кислотность среды (от 0 до 6,9). Показатель pH больше 7,0 характерен для щелочной среды.

Вода является одной из самых важных составляющих организма человека, который на 70 % состоит из  $H_2O$ . Естественно, что у человеческого организма свой показатель pH, который представляет собой соотношение положительно заряженных свободных ионов водорода (формирующих кислую среду) и гидроксидов, формирующих щелочную среду (отрицательно заряженных). Протекающие в организме человека биохимические процессы направлены на уравнивание этого соотношения, что позволяет поддерживать кислотно-щелочной баланс. При его нарушении возникают условия для развития разных заболеваний.

На кислотно-щелочное равновесие человеческого тела влияет не только питьевая вода, но и жидкость, используемая в гигиенических процедурах. Идеальный вариант применения – это дистиллированная вода, где водородные и гидроксидные ионы находятся в равновесии.

Барьерно-защитная функция кожного покрова человека обеспечивается определенным уровнем pH. Кислая среда на поверхности кожного покрова образуется под воздействием молочной и уксусной кислот. Большая часть научных исследований установила, что оптимальный показатель pH кожного покрова человека находится в пределах 5,4–5,9.

Содержание в средствах для мытья или умывания молочной и уксусной кислот не приводит к повышению кислотности кожи, поскольку они быстро расщепляются, а затем смываются водой. Такой процесс позволяет сдвинуть pH к нейтральному показателю 7.

Для электрометрического определения pH применяются pH-метры со стеклянными электродами. Показатель pH измеряется:

- в растворах с тяжелыми металлами, окислителями и восстановителями;
- в коллоидных растворах и эмульсиях;
- в цветных растворах, из-за чего индикаторное определение показателя pH невозможно.



Применение *pH*-метров со стеклянным электродом базируется на измерении ЭДС элемента, обратимого по отношению к ионам водорода. Потенциал стеклянной поверхности, соприкасающейся с исследуемым раствором, зависит от *pH* самого раствора.

Измерение *pH* заключается в сравнении ЭДС индикаторного электрода, погруженного в испытуемый раствор, с показателями этого же электрода, помещенного в стандартный буферный раствор, значение *pH* которого уже известно.

Примеры показателей *pH*

Таблица 1

Вещество	<i>pH</i>
Электролит в свинцовых аккумуляторах	<1,0
Желудочный сок	1,0-2,0
Лимонный сок (5 % раствор лимонной кислоты)	2,0±0,3
Пищевой уксус	2,4
Кока-кола	3,0±0,3
Яблочный сок	3,0
Пиво	4,5
Кофе	5,0
Шампунь	5,5
Чай	5,5
Кожа здорового человека	5,5
Кислотный дождь	<5,6
Слюна	6,8-7,4
Молоко	6,6-6,9
Чистая вода	7,0
Кровь	7,36-7,44
Морская вода	8,0
Мыло (жировое) для рук	9,0-10,0
Нашатырный спирт	11,5
Отбеливатель (хлорная известь)	12,5
Концентрированные растворы щелочей	>13

#### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Для определения показателя *pH* в гигиенических средствах (гели для душа, мыло) требуется заранее налить в 4 стакана водные растворы гелей для душа от разных производителей (можно взять мыло), наполнить 3 стакана дистиллированной водой.

2. Перед началом работы проводится подготовка электрода *pH*. Снимается защитный колпачок, в лабораторной промывалке с дистиллированной водой ополаскивается электрод, высушивается с помощью фильтровальной бумаги.

3. Запускается программа измерений «Цифровая лаборатория».

4. В соответствии с инструкцией для пользователей программы «Цифровая лаборатория» проводится подключение цифрового мультиметра лаборатории «Биология».

5. Мультиметр подключается к *pH* датчику.

6. Исследуемый образец помещается в химический стакан.

7. *pH* датчик помещается в исследуемый раствор, через 5-7 минут фиксируются показатели.

8. Для других образцов провести аналогичные измерения, результаты записать в таблицу.

9. Проанализировать лабораторную работу и сделать выводы.

Таблица 2

Примеры показателей *pH*

№ п/п	Образец (гель/мыло)	Показатель <i>pH</i>	Описание образца/ Реакция среды	Выводы
1	Образец 1			
2	Образец 2			
3	Образец 3			
4	Образец 4			

#### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое водородный показатель *pH*?
2. Какой раствор называется нейтральным, щелочным, кислым?



## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ $pH$ СРЕДСТВ ЛИЧНОЙ ГИГИЕНЫ РАЗЛИЧНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ

*Оборудование:* ноутбук и датчик  $pH$ , чистая вода, заранее приготовленные растворы гелей для душа различной концентрации в 4 химических стаканах.

*Цель:* освоение методики определения показателя  $pH$  и его значение.

### ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Определить показатель  $pH$  в одном образце раствора из средств личной гигиены разной концентрации с помощью цифрового датчика лаборатории.
2. Измерения проводятся в порядке возрастания концентрации растворов.
3. Электрод  $pH$  предварительно готовится к работе. Снимается защитный колпачок, в лабораторной промывалке с дистиллированной водой ополаскивается нижняя часть электрода, с последующим аккуратным ее просушиванием с помощью фильтровальной бумаги.
4. Запускается программа измерений «Цифровая лаборатория».
5. В соответствии с инструкцией для пользователей программы «Цифровая лаборатория» к мультидатчику цифровой лаборатории «Биология» подключается ноутбук.
6. Датчик  $pH$  подключается к мультидатчику.
7. Исследуемый раствор помещается в стакан химический.
8. Датчик  $pH$  помещается в исследуемый раствор гигиенического средства, показания снимаются через 5-7 минут.
9. Измерения повторяются с другими образцами.
10. Полученные результаты занести в таблицу 1.
11. Проанализировать лабораторную работу и сделать выводы.

Таблица 1

Сравнительная таблица  $pH$  в растворах разной концентрации

№ п/п	Концентрация геля/мыла	Показатель $pH$	Реакция среды	Выводы
1	1:50			
2	1:100			
3	1:150			

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое водородный показатель  $pH$ ?
2. Какой раствор называется нейтральным, щелочным, кислым?

Для заметок

