



МИНИСТЕРСТВО  
ПРОСВЕЩЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

ОБРАЗОВАНИЕ

НАЦИОНАЛЬНЫЕ  
ПРОЕКТЫ  
РОССИИ



КВАНТОРИУМ

РЕАЛИЗАЦИЯ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ  
ПРОГРАММ

**ПО ХИМИИ**

С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ОБОРУДОВАНИЯ  
ДЕТСКОГО ТЕХНОПАРКА  
«ШКОЛЬНЫЙ КВАНТОРИУМ»

**10–11 КЛАССЫ**

УГЛУБЛЕННЫЙ  
УРОВЕНЬ

МОСКВА 2021



М.В. Дорофеев

**Реализация образовательных программ по химии с использованием  
оборудования детского технопарка «Школьный кванториум» 10-11 класс  
(углубленный уровень)**

*Методическое пособие*

Москва, 2021

[В содержание](#)



## Содержание

<b>Введение</b> .....	3
Цели и задачи «Школьного кванториума» .....	3
Нормативная база .....	6
Основные понятия и термины .....	7
Краткое описание подходов к структурированию материалов .....	8
<b>Описание материально-технической базы «Школьного кванториума»</b> .....	10
<b>Примерная рабочая программа по химии для 10—11 классов</b> .....	16
Планируемые результаты освоения учебного предмета химии .....	16
Формы контроля .....	18
Тематическое планирование .....	43
Содержание и форма организации учебных занятий по химии в 10—11 классах ..	51
Планы уроков .....	51
Лабораторные работы и практические занятия .....	94
<b>Перечень тем учебно-исследовательской и проектной деятельности школьников</b> .....	159
<b>Перечень доступных источников информации</b> .....	161



## Введение

Детский технопарк «Кванториум» (далее — «Школьный кванториум») — результат реализации национального проекта «Образование», благодаря которому в общеобразовательные организации нашей страны поставляется новое учебное оборудование. Использование этого оборудования, инновационных средств обучения и воспитания нацелено на углубление освоения основных образовательных программ основного общего и среднего общего образования, внеурочной деятельности, программ дополнительного образования, в том числе естественно-научной и технической направленностей.

Создание образовательной среды с использованием оборудования детского технопарка «Школьный кванториум» расширят спектр возможностей в преподавании дисциплин естественного цикла. В создаваемой образовательной среде учителя химии, реализующие образовательную программу на профильном уровне, могут по-новому формировать и развивать у школьников представления о современной естественно-научной картине мира, а не ретранслировать им знания с «самого передового края науки», «раскрывать, как устроен мир». «Школьный кванториум» позволяет так организовать учебный процесс, чтобы ученики самостоятельно конструировали свои знания и умения, «обучать познавать мир».

Одна из основных идей Федерального государственного стандарта среднего общего образования (ФГОС СОО) состоит в обучении школьников научным методам познания. Очевидно, что подготовиться к уроку и организовать работу детей значительно проще, если идти к ним «с готовыми знаниями». Значительно сложнее и с практической точки зрения, и с теоретической реализовать идею «вместе с детьми к новым знаниям». В соответствии с требованиями ФГОС СОО учитель должен строить свою работу так, чтобы школьники овладели «умениями формулировать гипотезы, конструировать, проводить эксперименты, оценивать полученные результаты и анализировать их». Образовательная среда, создаваемая на базе «Школьного кванториума», позволяет строить учебный процесс таким образом, чтобы знания приобретались учащимися в процессе активной познавательной деятельности.

В естественных науках все теоретические знания являются результатом анализа и обобщения экспериментальных данных. **Эксперимент** — это единственно достоверный критерий истины знаний. Фактически, реализуя требования ФГОС СОО, мы должны следовать идее, сформулированной Д. И. Менделеевым: «... то образование, в котором нет этого соединения абстрактного с конкретным, где есть только перечисление узанных рецептов, не может быть почитаемо...»<sup>1</sup>

Использование оборудования детского технопарка «Школьный кванториум» позволяет обучить школьников выявлять учебную проблему, разрешать её, выдвигая гипотезы и проверяя их экспериментально. Ученик получает новые знания, приобретает новые умения. Решение проблемной учебной экспериментальной задачи становится первым шагом на пути к подлинно научному исследованию.

### Цели и задачи «Школьного кванториума»

Технопарк «Школьный кванториум» на базе общеобразовательных организаций создан с целью организации образовательной деятельности в сфере общего и дополнительного образования, которая будет направлена на создание условий для расширения со-

<sup>1</sup> Менделеев Д. И. Заветные мысли. М.: Мысль, 1995. С. 247.



держания общего образования для развития у обучающихся естественно-научной, математической, информационной грамотности, формирования критического и креативного мышления, совершенствования навыков естественно-научной направленности, а также повышения качества образования.

### Задачами «Школьного кванториума» являются:

- реализация основных общеобразовательных программ по учебным предметам естественно-научной направленности, в том числе в рамках внеурочной деятельности обучающихся;
- разработка и реализация разноуровневых дополнительных общеобразовательных программ естественно-научной направленности, а также иных программ, в том числе в каникулярный период;
- вовлечение обучающихся и педагогических работников в проектную деятельность;
- организация внеучебной деятельности в каникулярный период, разработка и реализация соответствующих образовательных программ, в том числе для лагерей, организованных образовательными организациями в каникулярный период;
- повышение профессионального мастерства педагогических работников «Школьного кванториума», реализующих основные и дополнительные общеобразовательные программы.

Создание «Школьного кванториума» на базе общеобразовательной организации предполагает использование приобретаемого оборудования, средств обучения и воспитания для углублённого освоения основных образовательных программ основного общего и среднего общего образования, внеурочной деятельности, программ дополнительного образования, в том числе естественно-научной и технической направленности.

Создание «Школьного кванториума» предполагает развитие образовательной инфраструктуры общеобразовательной организации, в том числе оснащение общеобразовательной организации:

- оборудованием, средствами обучения и воспитания для расширения возможностей изучения (в том числе экспериментального) предметов, курсов, дисциплин (модулей) естественно-научной и технологической направленности при реализации основных общеобразовательных программ и дополнительных общеобразовательных программ;
- оборудованием, средствами обучения и воспитания для начального знакомства обучающихся с проектированием и конструированием роботов, обучения основам конструирования и программирования, принципов функционирования и основы разработки информационных систем и аппаратно-программных комплексов и т. д.;
- компьютерным, презентационным и иным оборудованием, в том числе для реализации программ дополнительного образования естественно-научной и технической направленностей.

Перечень, минимально необходимые функциональные и технические требования и минимальное количество оборудования, расходных материалов, средств обучения и воспитания для оснащения «Школьного кванториума» определяются Региональным координатором с учётом Примерного перечня оборудования, расходных материалов, средств обучения и воспитания в целях создания детского технопарка «Кванториум».

Эксперимент является источником знаний и критерием достоверности в науке. Концепция современного образования подразумевает, что в учебном эксперименте ведущую роль должен занять самостоятельный исследовательский ученический эксперимент.



Современные экспериментальные исследования по химии уже трудно представить без использования не только аналоговых, но и цифровых измерительных приборов. В Федеральном государственном образовательном стандарте (ФГОС) прописано, что одним из универсальных учебных действий, приобретаемых учащимися, должно стать умение «проведения опытов, простых экспериментальных исследований, прямых и косвенных измерений с использованием аналоговых и цифровых измерительных приборов».

Учебный эксперимент по химии, проводимый на традиционном оборудовании, без применения цифровых лабораторий, не может позволить в полной мере решить все задачи в современной школе. Это связано с рядом причин:

- традиционное школьное оборудование из-за ограничения технических возможностей не позволяет проводить многие количественные исследования;
- длительность проведения физических исследований не всегда согласуется с длительностью учебных занятий;
- возможность проведения многих исследований ограничивается требованиями техники безопасности и др.

Цифровая лаборатория полностью меняет методику и содержание экспериментальной деятельности и решает вышеперечисленные проблемы. Широкий спектр датчиков позволяет учащимся знакомиться с параметрами физического эксперимента не только на качественном, но и на количественном уровне. Цифровая лаборатория позволяет вести длительный эксперимент даже в отсутствие экспериментатора, а частота их измерений неподвластна человеческому восприятию.

В процессе формирования экспериментальных умений ученик обучается представлять информацию об исследовании в четырёх видах:

- в вербальном: описывать эксперимент, создавать словесную модель эксперимента, фиксировать внимание на измеряемых величинах, терминологии;
- в табличном: заполнять таблицы данных, лежащих в основе построения графиков (при этом у учащихся возникает первичное представление о масштабах величин);
- в графическом: строить графики по табличным данным, что даёт возможность перехода к выдвижению гипотез о характере зависимости между величинами (при этом учитель показывает преимущество в визуализации зависимостей между величинами, наглядность и многомерность); в виде математических уравнений: давать математическое описание взаимосвязи величин, математическое обобщение.

Переход от каждого этапа представления информации занимает довольно большой промежуток времени. В 7—8 классах этот процесс необходим, но в старших классах можно было бы это время потратить на решение более важных задач. В этом плане цифровые лаборатории существенно экономят в этом время. Это время можно потратить согласно ФГОС на формирование исследовательских умений учащихся, которые выражаются в следующих действиях:

- определение проблемы;
- постановка исследовательской задачи;
- планирование решения задачи;
- построение моделей;
- выдвижение гипотез;
- экспериментальная проверка гипотез;
- анализ данных экспериментов или наблюдений;
- формулирование выводов.

Последние годы у учащихся наблюдается низкая мотивация изучения естественно-научных дисциплин и, как следствие, падение качества образования.



Поставляемые в школы современные средства обучения в рамках проекта «Школьный кванториум» содержат как уже хорошо известное оборудование, так и принципиально новое. Это цифровые лаборатории и датчиковые системы. В основу образовательной программы заложено применение цифровых лабораторий. Тематика предложенных экспериментов, количественных опытов соответствует структуре примерной образовательной программы по химии, содержанию Федерального государственного образовательного стандарта (ФГОС) среднего (полного) общего образования.

Рассмотренные в пособии опыты прошли широкую апробацию. Многолетняя практика использования химических приборов, ЦЛ в школе показала, что современные технические средства обучения нового поколения позволяют добиться высокого уровня усвоения учебного материала, устойчивого роста познавательного интереса школьников, т. е. преодолеть те проблемы, о которых так много говорят, когда речь заходит о современном школьном химическом образовании.

Данное методическое пособие адресовано учителям химии, которые реализуют образовательные программы с использованием оборудования «Школьный кванториум».

### Нормативная база

1. Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ (ред. от 31.07.2020) «Об образовании в Российской Федерации» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2020) - URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_140174](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174)

(дата обращения: 28.09.2020).

2. Паспорт национального проекта «Образование» (утв. президиумом Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол от 24.12.2018 № 16) - URL: <https://login.consultant.ru/link?req=doc&base=LAW&n=319308&demo=1>

(дата обращения: 10.03.2021).

3. Государственная программа Российской Федерации «Развитие образования» (утверждена Постановлением Правительства РФ от 26.12.2017 № 1642 (ред. от 22.02.2021) «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие образования» - URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_286474](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_286474)

(дата обращения: 10.03.2021).

4. Профессиональный стандарт «Педагог (педагогическая деятельность в дошкольном, начальном общем, основном общем, среднем общем образовании), (воспитатель, учитель)» (ред. от 16.06.2019) (Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 18 октября 2013 г. № 544н, с изменениями, внесёнными приказом Министерства труда и соцзащиты РФ от 25 декабря 2014г. № 1115н и от 5 августа 2016 г. № 422н) - URL: <http://профстандартпедагога.рф>

(дата обращения: 10.03.2021).

5. Профессиональный стандарт «Педагог дополнительного образования детей и взрослых» (Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 5 мая 2018 г. № 298н «Об утверждении профессионального стандарта «Педагог дополнительного образования детей и взрослых») - URL: [https://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/reestr-professionalnykh-standartov/index.php?ELEMENT\\_ID=48583](https://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/reestr-professionalnykh-standartov/index.php?ELEMENT_ID=48583)

(дата обращения: 10.03.2021).

6. Федеральный государственный образовательный стандарт основного общего образования (утвержден приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 17 декабря 2010 г. № 1897) (ред. 21.12.2020) - URL: <https://fgos.ru>

(дата обращения: 10.03.2021).



7. Федеральный государственный образовательный стандарт среднего общего образования (утвержден приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 17 мая 2012 г. № 413) (ред. 11.12.2020) - URL: <https://fgos.ru>

(дата обращения: 10.03.2021).

8. Методические рекомендации по созданию и функционированию детских технопарков «Кванториум» на базе общеобразовательных организаций (утверждены распоряжением Министерства просвещения Российской Федерации от 12 января 2021 г. № Р-4) - URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_374695/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_374695/)

(дата обращения: 10.03.2021).

9. Методические рекомендации по созданию и функционированию центров цифрового образования «IT-куб» (утверждены распоряжением Министерства просвещения Российской Федерации от 12 января 2021 г. № Р-5) - URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_374572/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_374572/)

(дата обращения: 10.03.2021).

10. Методические рекомендации по созданию и функционированию в общеобразовательных организациях, расположенных в сельской местности и малых городах, центров образования естественно-научной и технологической направленностей («Точка роста») (утверждены распоряжением Министерства просвещения Российской Федерации от 12 января 2021 г. № Р-6) - URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_374694/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_374694/)

(дата обращения: 10.03.2021).

## Справочник

### Основные понятия и термины

**«Школьный кванториум»** — комплект учебного оборудования детского технопарка, материальная база для создания инновационной образовательной среды, в которой формируется и развивается изобретательское, креативное и критическое мышление обучающихся.

**Цифровая (компьютерная) лаборатория (ЦЛ)**, программно-аппаратный комплекс, датчиковая система — комплект учебного оборудования, включающий измерительный блок, интерфейс которого позволяет обеспечивать связь с персональным компьютером, и набор датчиков, регистрирующих значения различных физических величин.

**Ионоселективный электрод (ИСЭ)** — электрохимический датчик, позволяющий измерять концентрацию (точнее, активность) иона в растворе. Измерения проводятся с высокой степенью селективности в широком интервале концентраций. Современные ИСЭ, выпускаемые промышленностью, позволяют определять активность десятков различных катионов и анионов, включая ионы комплексных соединений, органических кислот и оснований. В том числе к ИСЭ относится стеклянный электрод, позволяет измерять катионы  $H^+$ , т. е. определять водородный показатель pH.

**Аппарат для проведения химических реакций (АПХР)** предназначен для демонстрации экспериментов с токсичными газами и парами в замкнутой системе. Конструкция прибора обеспечивает возможность изучать свойства и способы получения токсичных веществ без использования вытяжных устройств.

<sup>1</sup> Подробные характеристики датчиков, методики настройки и правила работы можно найти в кн.: «Использование цифровых лабораторий при обучении химии в средней школе. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. 229 с.





## Краткое описание подходов к структурированию материалов

Предмет «Химия» входит в состав предметной области «Естествознание» и состоит из следующих разделов:

1. Методы научного познания.
2. Органическая химия.
3. Общая химия.
4. Неорганическая химия.
5. Роль химии в жизни человека.

Изучение предмета «Химия» может быть организовано на уровне среднего (полного) общего образования в следующих формах учебной деятельности.

1. Химический эксперимент является обязательной составной частью каждого из разделов данной программы.

Виды химического эксперимента:

1) демонстрационный эксперимент предназначен для иллюстрации изучаемого материала;

2) практические занятия и лабораторные опыты формируют у обучающихся практические умения безопасного обращения с реактивами и приборами, умения обращаться с химической посудой и лабораторным оборудованием, использовать приобретённые знания и умения в исследовательской деятельности и повседневной жизни для безопасного обращения с веществами и материалами.

2. Проектная деятельность обучающихся включает:

- 1) работу с источниками химической информации;
- 2) аналитические обзоры информации по решению определённых научных, технологических, практических проблем;
- 3) овладение основами химического анализа;
- 4) овладение основами неорганического и органического синтеза.

Данная ОП обеспечивает сознательное усвоение учащимися важнейших химических законов, теорий и понятий; формирует представление о роли химии в развитии разнообразных отраслей производства; знакомит с веществами, окружающими человека. При этом основное внимание уделяется сущности химических реакций и методам их осуществления, а также способам защиты окружающей среды.

По сравнению с традиционным базовым курсом химии в 10—11 классах представленная ОП предусматривает лишь незначительное превышение уровня фактически по всем разделам, особенно связанным с биохимией, но основное внимание уделяется развитию личности школьника. Учебный материал отобран в соответствии с одной из основных задач курса — формирование целостного подхода к изучению окружающей природы. Решение данной задачи реализуется через организацию исследовательского, творческого типа деятельности учащихся на уроках.

ОП предусматривает реализацию глубоких и прочных межпредметных связей с биологией, экологией, физикой. Особое внимание уделяется биологической роли химических элементов, их соединений, процессам, протекающим в живой природе. Подробно рассматриваются разделы физической химии. Как условие формирования научного мировоззрения рассмотрены вопросы истории химии, истории фармации. Усилена гуманистическая направленность предмета — повышение роли химии в решении глобальных проблем человечества, рациональном использовании природных богатств, обогащении энергетических ресурсов, обеспечении населения продуктами питания, защите окружающей среды от загрязнения. Акцентируется внимание на вопросах, связанных с прикладной медициной, цитологией, токсикологией, охраной природы.



Курс химии 10 класса начинается с углубления и расширения знаний по современным представлениям о строении атома, природе и свойствах химической связи, по основам количественных расчётов в химии, по газовым законам, по способам выражения концентрации растворов, т. е. по тем темам, содержание которых определено предметными требованиями ФГОС ООО. Такое начало курса химии в 10 классе объясняется тем, что изучение органической химии может быть успешным только в том случае, если базируется на знаниях, которые учащиеся приобрели при изучении общей и неорганической химии в 8—9 классах.

Раздел «Органическая химия» в курсе 10 класса включает углублённое изучение углеводородов, их функциональных и полифункциональных производных, кислородсодержащих соединений (до жиров включительно), а также аминов. Особое внимание уделяется взаимному влиянию атомов в молекулах, вопросам, связанным с механизмами химических реакций, раскрывается взаимосвязь между свойствами веществ и их строением.

В 11 классе учащиеся продолжают изучение органической химии, при этом внимание уделяется веществам, имеющим важное биологическое значение: углеводам, аминокислотам и белкам, гетероциклическим соединениям и нуклеиновым кислотам. Раздел «Органическая химия» завершается изучением синтетических высокомолекулярных соединений.

Следующий раздел курса химии 11 класса посвящён обобщению, углублению и расширению знания по общей химии. Подробно изучаются следующие вопросы общей химии: основные закономерности протекания химических процессов, в том числе электролиз, коррозия металлов и сплавов, способы защиты от коррозии. Курс 11 класса завершается изучением основ неорганической химии. Рассматриваются вопросы строения и свойств неорганических веществ.

Предлагаемая ОП предусматривает углублённое изучение важнейших теорий и законов химии, применения полученных учащимися знаний для объяснения многообразия химических явлений. Учебный предмет «Химия» формирует представления школьников о научно обоснованных правилах и нормах использования веществ, применения лекарственных, бытовых и иных химических препаратов. Усилена прикладная направленность курса химии.

Одним из основных принципов построения программы является доступность планируемого объёма знаний. Уделено большое внимание химическому эксперименту как основному методу формирования научного мировоззрения учащихся. Подходы, заложенные в содержание программы курса углублённого изучения химии в 10—11 медико-биологических классах, создают необходимые условия для системного усвоения учащимися основ науки, для обеспечения развивающего и воспитывающего воздействия обучения на личность учащегося. Формируемые знания должны стать основой системы убеждений школьника, центральным ядром его научного мировоззрения.

В курсе органической химии находит отражение важнейшая идея современной химии — идея зависимости свойств веществ от электронного и пространственного строения молекул, взаимосвязи органических и неорганических веществ различных классов. В программе нашли отражение вопросы, касающиеся механизмов химических реакций. Рассматриваются наиболее распространённые, хорошо изученные и доступные для понимания радикальные и ионные механизмы реакций. На примере органических соединений из различных классов рассматривается явление оптической изомерии. Большое внимание уделяется установлению генетической взаимосвязи между классами органических веществ.

Задача курса химии 11 класса — выявить общие подходы к изучению неорганических и органических веществ, обобщить и углубить теоретические знания учащихся, совершенствовать умение решать расчётные задачи различных типов. Более глубокое понимание сути периодичности, химической связи и различных механизмов её образования, строения вещества, элементов химической кинетики и термодинамики даёт возможность обобщённого подхода к изучению общих свойств металлов и неметаллов, их соединений.



## Описание материально-технической базы «Школьного кванториума», используемого для реализации образовательных программ в рамках преподавания химии

Комплект оборудования «Школьного кванториума» представлен как современными приборами, так и классическими. Последние прошли многолетнюю апробацию в школе и получили должное признание у учителей химии. К ним относятся: прибор для демонстрации зависимости скорости реакции от различных факторов, аппарат для проведения химических реакций, прибор для опытов по химии с электрическим током. Учитывая практический опыт применения данного оборудования на уроках химии, здесь приводится лишь краткое описание приборов. Основной акцент сделан на применении цифровых лабораторий и их возможностях.

### Справочник

**Цифровая (компьютерная) лаборатория (ЦЛ)** поставляется с набором датчиков<sup>1</sup>, позволяющих регистрировать значения различных физических величин.

**Датчик температуры** — простой и надёжный датчик, предназначен для измерения температуры в водных растворах и в газовых средах. Имеет различный диапазон измерений от  $-30$  до  $+120$  °С. Технические характеристики датчика указаны в инструкции по эксплуатации.



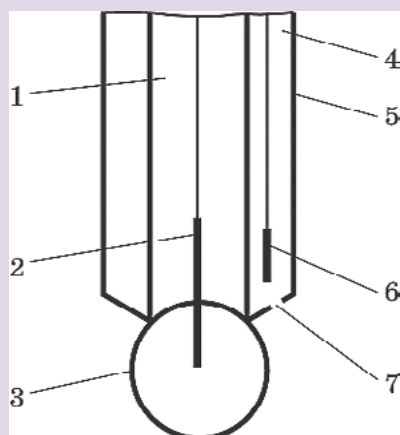
**Рис. 1.** Датчик оптической плотности: 1 — гнездо для кюветы; 2 — кювета для исследуемого вещества

**Датчик оптической плотности (колориметр)** предназначен для измерения оптической плотности окрашенных растворов (рис. 1). Используется при изучении тем «Растворы», «Скорость химических реакций», определении концентрации окрашенных ионов или соединений. В комплект входят датчики с длиной волны монохроматического источника света 525 нм (зелёный) и 470 нм (синий). Объём кюветы составляет 4 мл, длина оптического пути — 10 мм.

**Датчик электропроводности** предназначен для измерения удельной электропроводности жидкостей, в том числе и водных растворов веществ. Применяется при изучении теории электролитической диссоциации, характеристик водных растворов.

**Датчик pH** предназначен для измерения водородного показателя (pH). В настоящее время в школу поступают комбинированные датчики, совмещающие в себе стеклянный электрод с электродом сравнения (рис. 2), что делает работу по измерению водородного показателя более комфортной.

<sup>1</sup> Подробные характеристики датчиков, методики настройки и правила работы можно найти в кн.: «Использование цифровых лабораторий при обучении химии в средней школе. М.: Бинوم. Лаборатория знаний, 2014. 229 с.



**Рис. 2.** Схема строения комбинированного датчика рН: 1 — внутренний буферный раствор стеклянного электрода, 2 — внутренний, рабочий, электрод (серебряная проволока, покрытая пастой из хлорида серебра, в составе стеклянного электрода), 3 — стеклянная мембрана, 4 — раствор электролита электрода сравнения (внешний раствор), 5 — корпус электрода, 6 — внешний электрод сравнения (серебряная проволока, покрытая пастой из AgCl в составе электрода сравнения), 7 — диафрагма, соединяющая внутреннее пространство электрода с внешним, для создания электролитического мостика

Стеклянный электрод относится к ионоселективным электродам (ИСЭ), имеет наибольшее практическое применение для экспериментального определения рН, поскольку отличается устойчивой работой в широком интервале рН, от 0—12 (реже 14), и в присутствии окислителей. Используется для измерения водородного показателя водных растворов, в различных исследованиях объектов окружающей среды. При эксплуатации требует бережного отношения. Необходимо помнить, что датчик хрупок, поэтому им нельзя ничего перемешивать! Нельзя трогать чувствительный элемент руками.

**Датчик хлорид-ионов** используется для количественного определения содержания хлорид-ионов  $\text{Cl}^-$  в водных растворах, почве, продуктах питания. К датчику подключается ИСЭ — рабочий электрод, потенциал которого зависит от концентрации определяемого иона, в данном случае от концентрации анионов  $\text{Cl}^-$ . Потенциал ИСЭ определяют относительно электрода сравнения, как правило, хлорсеребряного.



**Рис. 3.** Установка для определения концентрации (активности) хлорид-ионов в растворе. А: 1 — корпус датчика для определения  $\text{Cl}^-$ -ионов; 2 — разъём Micro USB для подключения к компьютеру; 3 — разъём BNC для подключения рабочего электрода; 4 — разъём для подключения электрода сравнения; Б: 1 — ионоселективный электрод (рабочий электрод); 2 — электрод сравнения (хлорсеребряный электрод); 3 — магнитная мешалка; 4 — якорь магнитной мешалки

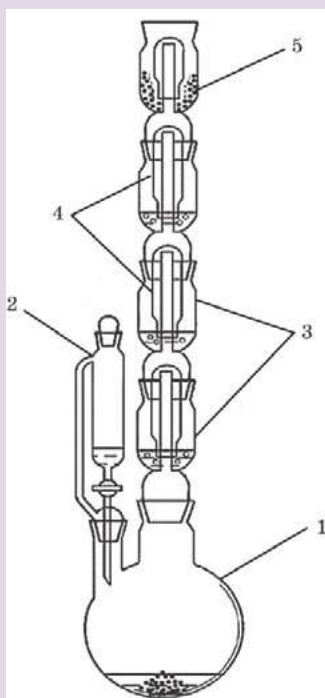


На рисунке 3 показана общая схема использования ИСЭ для количественного определения концентрации (активности<sup>1</sup>) различных ионов:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ . Основной компонент любого ИСЭ — мембрана, которая разделяет внутренний раствор с постоянной концентрацией определяемого иона и исследуемый раствор, а также служит средством электролитического контакта между ними. Мембрана обладает ионообменными свойствами, причём проницаемость её к ионам разного типа различна.

Запрещается трогать мембрану электрода пальцами и приводить её в соприкосновение с твёрдыми поверхностями. При хранении ИСЭ чувствительная часть датчика (мембрана) должна быть защищена специальным колпачком. Не допускается использовать электроды с полимерной мембраной в средах, содержащих летучие вещества или органические растворители. Не следует использовать ИСЭ в сильных окислителях. Длительное нахождение ИСЭ в растворах крепких кислот или щелочей приводит к резкому и необратимому сокращению срока службы электрода.

### Справочник

**Датчик нитрат-ионов** предназначен для количественного определения нитрат-ионов  $\text{NO}_3^-$  в водных растворах, почве, продуктах питания. К датчику подключается ИСЭ, потенциал которого зависит от активности нитрат-ионов в исследуемом растворе.



**Аппарат для проведения химических реакций (АПХР)** предназначен для получения и демонстрации свойств токсичных паров и газов. Эти вещества получают в колбе-реакторе, и при нагревании (или без нагревания) газообразные вещества, проходя через поглотительные ёмкости (насадки) с растворами реагентов, вступают с ними в реакцию (рис. 4). Избыток газа поглощается жидкими и твёрдыми реагентами, а также активированным углём. Аппарат чаще всего используют для получения и демонстрации свойств хлора, сероводорода.

**Рис. 4.** Аппарат для проведения химических реакций (АПХР): 1 — двугорлая колба-реактор; 2 — делительная воронка для работы с токсичными веществами, позволяет добавлять необходимое количество жидкого реагента в реакцию, не допуская разгерметизации прибора; 3 — ёмкости (насадки) для жидких реагентов (поглотителей); 4 — колпаки; 5 — ёмкость (насадка) для сыпучих реагентов

<sup>1</sup> Активность ионов  $a$  — эффективная (кажущаяся) концентрация с учётом различных взаимодействий между ионами в растворе. Показатель активности  $p_a = -\lg a$ . Понятие было предложено в 1907 году американским учёным Г. Льюисом как новая переменная, применение которой вместо концентрации позволяет использовать для описания свойств реальных растворов относительно простые уравнения, полученные для идеальных систем.



При правильной эксплуатации прибора демонстрация становится безопасной, удобной. На проведение опытов тратится около 3—6 минут. Хорошая визуальность является преимуществом этого прибора. Так как при демонстрации одновременно проходят несколько реакций, важно правильно организовать наблюдения учащимися за протекающими процессами. Целесообразно записать на доске названия или формулы реагентов, находящихся в поглотительных склянках. По окончании опыта нужно сравнить исходные растворы веществ и результаты их превращений.

АПХР можно применять на разных этапах усвоения знаний — при изучении нового материала, повторении и закреплении, обобщении и систематизации знаний учащихся. В зависимости от профиля обучаемых, целей урока, уровня развития учащихся возможны различные варианты постановки эксперимента и выбора реагирующих веществ. Однако при изучении свойств веществ не следует ограничиваться только экспериментом с использованием АПХР. Многие дидактические цели могут быть достигнуты только демонстрацией опытов в традиционной форме.

Применение АПХР не ограничивается вышеописанным экспериментом. Прибор удобно применять при демонстрации свойств диоксида азота (IV), метиламина, брома, при фракционной перегонки нефти. В целях экономии времени его можно использовать при изучении свойств углекислого газа. В препаративных целях АПХР подходит для получения безводной азотной кислоты, бромбензола, нитробензола и других соединений.

### Справочник

**Прибор для демонстрации зависимости скорости химических реакций от различных факторов** используют при изучении темы «Скорость химической реакции» и теплового эффекта химических реакций. Прибор даёт возможность экспериментально исследовать влияние на скорость химических реакции следующих факторов: природы реагирующих веществ, концентрации реагирующих веществ, площади границы раздела фаз в гетерогенных системах (поверхности соприкосновения между реагирующими веществами), температуры, катализатора, ингибитора.

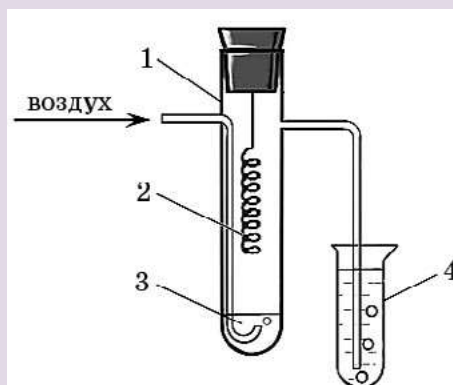
**Рис. 5.** Прибор для демонстрации зависимости скорости химических реакций от различных факторов: 1 — подставка; 2 — сосуды Ландольта; 3 — манометрические трубки



Прибор состоит из подставки, на которой закреплены две манометрические трубки, которые соединяются с сосудами Ландольта с помощью пластиковой трубки с пробками (рис. 5). Между манометрическими трубками на панели нанесена шкала для наблюдения уровня жидкости в трубках. Окрашенной жидкостью может быть раствор любого красителя в воде.

**Справочник**

**Прибор для окисления спирта над медным катализатором** предназначен для изучения реакции окисления спиртов кислородом воздуха на поверхности медного катализатора (рис. 6).



**Рис. 6.** Прибор для окисления спирта над медным катализатором:  
1 — пробирка со встроенной трубкой и боковым отводом;  
2 — спираль из медной проволоки, закреплена в резиновой пробке;  
3 — спирт; 4 — пробирка-приёмник

**Пипетка-дозатор** — приспособление, используемое в лаборатории для отмеривания определённого объёма жидкости. Пипетки выпускаются переменного и постоянного объёма. В комплекты оборудования для медицинских классов входят удобные пипетки-дозаторы одноканальные, позволяющие настроить необходимый объём отбираемой жидкости в трёх различных диапазонах (рис. 7). Использование современных технологий и цветовой кодировки диапазона дозирования даёт возможность качественно, точно, безопасно выполнять *пипетирование*. Пипетки имеют сменные пластиковые наконечники.

**Рис. 7.** Пипетки-дозаторы одноканальные переменного объёма: 1 — 1—10 мл; 2 — 100—1000 мкл; 3 — 10—100 мкл.

**Справочник**

**Баня комбинированная** предназначена для нагрева стеклянных и фарфоровых сосудов, когда требуется создать вокруг нагреваемого сосуда равномерное температурное поле, избежать использования открытого пламени и раскалённой электрической спирали (рис. 8). Корпус комбинированной бани сделан из алюминия. Жидкостная часть комбинированной бани закрывается кольцами различного диаметра.



**Рис. 8.** Баня комбинированная лабораторная. А — водяная баня. Б — песчаная баня

Для нагревания сосудов до  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  в качестве теплоносителя используют воду, когда требуется создать более высокую температуру, применяют солевые растворы. Теплоносителем может быть глицерин. Он обеспечивает интервал температур от  $60$  до  $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Выше этой температуры глицерин начинает разлагаться и дымить. Для нагревания до более высоких температур используют цилиндрическое масло или силиконовое. Более безопасно использовать для наполнения бань сухой мелкозернистый песок. Однако песочные бани прогреваются неравномерно. В состав комплекта входит сито для просеивания речного песка.

Источником тепла для комбинированной бани являются электрические плитки с закрытой спиралью.





## Примерная рабочая программа по химии для 10—11 классов с использованием оборудования «Школьного кванториума»

Цель реализации данной образовательной программы (ОП) состоит в достижении обучающимися результатов изучения предмета «Химия» на углублённом уровне в соответствии с требованиями, установленными ФГОС СОО. Поставленная цель достигается в условиях образовательной среды с использованием оборудования детского технопарка «Школьный кванториум». Важно отметить, что данная примерная ОП позволяет интегрировать реализуемые здесь подходы, структуру и содержание при организации обучения химии на профильном уровне в 10—11 классах, выстроенном на базе любого из доступных учебно-методических комплексов (УМК).

Использование оборудования «Школьного кванториума» при реализации данной ОП позволяет создать условия:

- для расширения содержания школьного химического образования на углублённом уровне;
- для повышения познавательной активности обучающихся в естественно-научной области;
- для развития личности ребёнка в процессе обучения химии, его способностей, формирования и удовлетворения социально значимых интересов и потребностей;
- для осознанного выбора обучающимися будущей профессии, дальнейшего успешного образования и профессиональной деятельности;
- для работы с одарёнными школьниками, организации их развития в различных областях образовательной, творческой деятельности;
- для обеспечения самостоятельного проектирования обучающимися образовательной деятельности и эффективной самостоятельной работы по реализации индивидуальных учебных планов;
- для выполнения индивидуального исследовательского проекта.

Данная ОП составлена на основе фундаментального ядра содержания общего образования и требований к результатам СОО, представленным в ФГОС. В ней учтены основные идеи и положения программы развития и формирования универсальных учебных действий (УУД) обучающихся и соблюдена преемственность с примерными программами для основного общего образования (ООО).

В основу данной ОП положен принцип развивающего обучения. Программа опирается на материал, изученный в 8—9 классах, поэтому некоторые темы курса рассматриваются повторно, но уже на более высоком теоретическом уровне. Такой подход позволяет углублять и развивать понятие о веществе и химическом процессе, закреплять пройденный материал в активной памяти учащихся, а также сохранять преемственность в процессе обучения.

### Планируемые результаты освоения учебного предмета химии

#### *Личностные результаты*

*Обучающийся получит возможность для формирования следующих личностных УУД:*

- осознавать свою гражданскую идентичность, патриотизм, уважение к своему народу, ответственность перед Родиной, гордость за неё;



- осознанно формировать и отстаивать свою гражданскую позицию как активного и ответственного члена российского общества;
- формировать своё мировоззрение, соответствующее современному уровню развития науки и общественной практики;
- непрерывно развивать в себе готовность и способность к самостоятельной, творческой и ответственной деятельности;
- сотрудничать со сверстниками и взрослыми в образовательной, общественно полезной, учебно-исследовательской и проектной деятельности;
- формировать сознательное отношение к непрерывному образованию как условию успешной профессиональной и общественной деятельности;
- осуществлять осознанный выбор будущей профессии и возможностей реализации собственных жизненных планов;
- формировать экологическое мышление, приобрести опыт эколого-направленной деятельности.

### **Метапредметные результаты**

#### Регулятивные

*Обучающийся получит возможность для формирования следующих регулятивных УУД:*

- выявлять и формулировать учебную проблему;
- определять цели деятельности и составлять её план, контролировать и корректировать деятельность;
- выбирать успешные стратегии в различных ситуациях; осознавать причины своего успеха или неуспеха, находить способы выхода из ситуации неуспеха;
- продуктивно общаться и взаимодействовать в процессе совместной деятельности, учитывать позиции других участников деятельности, эффективно разрешать конфликты.

#### Познавательные

*Обучающийся получит возможность для формирования следующих познавательных УУД:*

- осуществлять поиск различных алгоритмов решения практических задач, применять различные методы познания;
- осуществлять самостоятельную информационно-познавательную деятельность, включая умение ориентироваться в различных источниках информации, критически оценивать и интерпретировать информацию, получаемую из различных источников;
- использовать средства информационных и коммуникационных технологий (ИКТ) в решении когнитивных, коммуникативных и организационных задач с соблюдением требований безопасности;
- строить логические рассуждения, формулировать умозаключения на основе выявленных причинно-следственных связей;
- создавать модели изучаемых объектов, выделять в них существенные характеристики, преобразовывать модели;
- преобразовывать информацию из одного вида в другой; выбирать удобную форму фиксации и представления информации;
- владеть методами познавательной рефлексии как осознания совершаемых действий и мыслительных процессов, их результатов и оснований, границ своего знания и незнания, новых познавательных задач и средств их достижения.



### Предметные результаты

*Обучающийся научится:*

- исследовать свойства неорганических и органических веществ, объяснять закономерности протекания химических реакций, прогнозировать возможность их осуществления;
- выдвигать гипотезы на основе знаний о составе, строении вещества и основных химических законах, проверять их экспериментально, формулируя цель исследования;
- владеть методами самостоятельного планирования и проведения химических экспериментов с соблюдением правил безопасной работы с веществами и лабораторным оборудованием;
- описывать, анализировать и оценивать достоверность полученного результата;
- прогнозировать, анализировать и оценивать с позиций экологической безопасности последствия бытовой и производственной деятельности человека, связанной с переработкой веществ.

*Обучающийся получит возможность научиться:*

- самостоятельно формировать систему собственных знаний об общих химических закономерностях, законах, теориях;
- прогнозировать свойства веществ на основе их строения;
- использовать полученные знания в быту;
- понимать и объяснять роль химических процессов, протекающих в природе;
- планировать и осуществлять учебные химические эксперименты.

### Формы контроля

Контроль результатов обучения в соответствии с данной ОП проводится в форме письменных и экспериментальных работ, предполагается проведение промежуточной и итоговой аттестации.

### Промежуточная аттестация

Для осуществления промежуточной аттестации используются контрольно-оценочные материалы (КОМ). Отбор содержания КОМ ориентирован на проверку усвоения системы знаний и умений — инвариантного ядра содержания действующих ОП по химии для общеобразовательных организаций. Задания промежуточной аттестации включают материал основных разделов курса химии:

1. Методы научного познания.
2. Органическая химия.
3. Общая химия.
4. Неорганическая химия.
5. Роль химии в жизни человека.

К числу главных составляющих системы отбора содержания КОМ относятся основные законы и теоретические положения химии; знания о системности и причинности химических явлений, генезисе веществ, способах познания веществ. Проверка освоения ОП осуществляется на трёх уровнях сложности: базовом, повышенном и высоком.

Письменные работы построены по единому плану и включают две части. Первая часть содержит задания с кратким ответом, вторая часть — задания, требующие развёрнутого



ответа. Промежуточная аттестация в форме экспериментальной работы предполагает оформление отчёта о проведённом исследовании. Важно отметить, что экспериментальная работа может осуществляться как индивидуально, так и в составе малой группы (до 6 человек). В отчёте обучающиеся определяют цель исследования, предлагают разработку плана его осуществления, фиксируют наблюдаемые изменения, интерпретируют полученные результаты и формулируют обобщающие выводы. Во второй части отчёта обучающимся предлагается дать развёрнутые ответы на контрольные вопросы. Отчёты о проведённом экспериментальном исследовании целесообразно размещать в сетевом образовательном пространстве с полным доступом для всех участников образовательного процесса.

*Контрольно-оценочные материалы*  
*Вариант письменной работы*  
«Методы научного познания.

Определение качественного состава органического вещества»

1. Установите соответствие между методом научного познания и его определением. К каждой позиции, обозначенной буквой, подберите соответствующую позицию, обозначенную цифрой.

## МЕТОД

- А) наблюдение
- Б) эксперимент
- В) моделирование

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ

- 1) исследование объектов в специально созданных для этого условиях
- 2) планомерное восприятие объектов действительности с целью выявления их существенных свойств
- 3) развитие мысли от общих положений к частным, к знаниям о конкретном объекте
- 4) создание и исследование систем, отражающих существенные свойства реальных объектов

А	Б	В

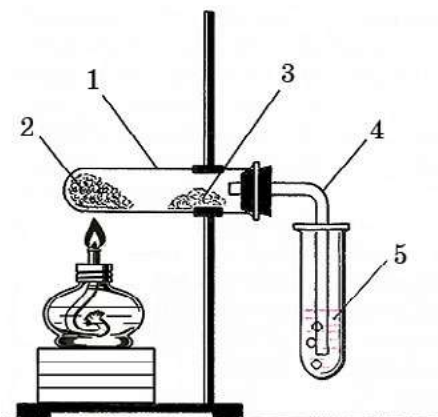
Для ответов на вопросы 2—12 используйте рисунок и тест, представленный ниже.

В школьной лаборатории провели опыт «Качественное определение углерода, водорода в органических веществах», используя прибор, изображённый на рисунке.

2. В пробирку-реактор (на рисунке показана цифрой 1) поместили смесь веществ (2), состоящую из

\_\_\_\_\_.

- 1) парафина
- 2) оксида меди (II)
- 3) меди
- 4) оксида магния
- 5) речного песка
- 6) сульфата меди (II)





3. Укажите фотографию, на которой изображена смесь (2) в пробирке (1) в самом начале эксперимента.



4. Укажите фотографию, на которой изображён результат нагревания смеси (2) в пробирке (1) в конце эксперимента.



5. При нагревании реакционной смеси (2) на холодных стенках пробирки (1) образовались капельки жидкости X ( фото).



Запишите формулу вещества X. \_\_\_\_\_.

6. Образование вещества X доказывает, что в состав исследуемого вещества входит некоторый химический элемент. Укажите химический знак этого элемента. \_\_\_\_\_.

7. Под действием вещества X соединение, обозначенное на рисунке цифрой 3, изменило окраску. Укажите фотографию, на которой показано это изменение. \_\_\_\_\_.

1)



4)



2)



5)



3)



8. Изменение окраски соединения, обозначенного на рисунке цифрой 3, под действием вещества X связано с образованием вещества, формула которого \_\_\_\_\_.

1)  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

4) Cu

2)  $\text{CaCO}_3$

5) CuO

3)  $\text{Ca}(\text{OH})_2$



9. При нагревании реакционной смеси (2) по газоотводной трубке (4) выделялся газ Y. Укажите формулу вещества Y. \_\_\_\_\_.

10. Образование вещества Y доказывает, что в состав исследуемого вещества входит некоторый химический элемент. Укажите химический знак этого элемента. \_\_\_\_\_.

11. Под действием газа Y в пробирке (5) наблюдались изменения, показанные на фотографии. Наблюдаемые изменения связаны с образованием вещества, формула которого \_\_\_\_\_.



- 1)  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$                       4) Cu  
2)  $\text{CaCO}_3$                               5) CuO  
3)  $\text{Ca(OH)}_2$

12. Пробирка (1) с исходными веществами (2) должна быть закреплена в штативе горизонтально или с небольшим наклоном в сторону отверстия. С образованием какого вещества связано данное требование техники проведения эксперимента? Укажите формулу этого вещества \_\_\_\_\_.

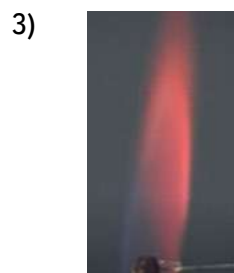
13. Твёрдый алкан нагрели с оксидом меди (II). Укажите, атомы какого элемента являются окислителями, а какого — восстановителями.

- 1) атомы C                                      3) атомы O  
2) атомы H                                      4) атомы Cu

Окислители	Восстановители

14. Наиболее удобный лабораторный способ определения атомов хлора в молекулах органических веществ — проба Бейльштейна. Для проведения данной пробы следует прокалить проволоку из определённого металла в пламени. Затем коснуться раскалённой проволокой исследуемого образца и снова внести проволоку в пламя. Если образец содержит атомы хлора, то наблюдают изменение окраски пламени. Укажите химический знак элемента-металла, из которого должна быть изготовлена проволока. \_\_\_\_\_.

15. Укажите фотографию, на которой показано это изменение цвета пламени в случае положительной пробы Бейльштейна.





16. Предположим, что в состав парафина входит алкан, содержащий 20 атомов углерода. Составьте уравнение реакции его полного окисления оксидом меди (II).

17. Составьте уравнение реакции полного окисления алкана  $C_nH_{2n+2}$  оксидом меди (II) в общем виде.

18. В прибор для установления качественного состава (описан в задании 2) поместили неизвестный твёрдый углеводород и смешали с избытком оксида меди (II). После реакции масса безводного сульфата меди возросла на 2,25 г, а в пробирке с избытком известковой воды выпал осадок белого цвета массой 35,0 г.

- 1) Считая все выходы в реакциях количественными, установите состав исследуемого углеводорода.
- 2) Рассчитайте массу исходного углеводорода.
- 3) Предложите возможное строение этого углеводорода.

19. Открытие элемента X в органическом веществе

Для открытия элемента X исследуемое вещество сплавляют с металлическим натрием, при этом образуется бинарное соединение X с натрием, которое растворяется в воде. При подкислении полученного раствора, в случае большого содержания X, появляется резкий неприятный запах. Если к полученному раствору прибавить несколько капель раствора ацетата свинца, то наблюдают выпадение осадка чёрного цвета. По количеству образующегося осадка судят о большем или меньшем содержании элемента X в исследуемом веществе.

- 1) Открытие какого элемента X описано в данном задании?
- 2) Предположим, что исследовали вещество  $CH_3-(CH_2)_{11}-XH$ . Составьте уравнение реакции его сплавления с натрием, если одним из продуктов реакции является алкан.
- 3) Составьте уравнения реакций бинарного соединения X, полученного при прокаливании с натрием:  
а) с соляной кислотой; б) с раствором ацетата свинца.
- 4) Для открытия X в легколетучих веществах, которые не удаётся сплавить с натрием, их нагревают с дымящей азотной кислотой. Затем к полученной смеси добавляют раствор хлорида бария и наблюдают выпадение осадка белого цвета, если в исследуемом веществе содержится X. Объясните, в чём заключается данный метод открытия X. Ответ проиллюстрируйте соответствующими уравнениями реакций.

#### *Критерии оценивания письменной работы*

За правильный ответ на каждое из заданий 1—15, предусматривающих краткий ответ, ставится 1 балл. Задания второй части, 16—19, требуют развёрнутого ответа. Задания 16 и 17 оцениваются 1 баллом; 18 — 3 баллами; 19 — 5 баллами. Максимально возможная сумма баллов за выполнение всей письменной работы — 25.

#### *Вариант экспериментальной работы*

«Экспериментальная проверка гипотезы.

Определение содержания карбоната кальция в различных объектах»

#### Теоретическое введение

Некоторые горные породы, например мрамор, мел и известняк, в качестве основного компонента содержат минерал кальцит — карбонат кальция  $CaCO_3$ . Кроме этого в состав этих горных пород входят органические соединения, примеси песка, глины и т. д. Массовая доля карбоната кальция в меле и известняке является одной из важнейших характе-





ристик, определяющих сортность сырья для строительной, целлюлозно-бумажной промышленности и других отраслей хозяйства.

При растворении карбонатов в кислоте происходит выделение углекислого газа:



Измеряя массу исходного образца, выданного для исследования, а затем массу образца после обработки избытком соляной кислоты, можно определить массу выделившегося углекислого газа. На основании полученного значения рассчитать массовую долю карбоната кальция в исследуемом образце. Следует отметить, что в данном случае мы условно считаем, что все карбонаты, содержащиеся в исследуемом образце, представлены в форме  $\text{CaCO}_3$ .

Для ускорения растворения исследуемые образцы лучше предварительно измельчить. Работу удобно проводить в микрогруппах, а затем сравнить содержание  $\text{CaCO}_3$  в разных образцах.

#### Оборудование и реактивы

Штатив с пробирками (10 шт.), пробка с гибкой газоотводной трубкой, химические стаканы, часовые стёкла, лабораторные весы, нагревательная плитка; соляная кислота (10%), известковая вода (насыщ.), раствор карбоната натрия (10%).

#### Инструкция:

Вам выданы следующие объекты для исследования: яичная скорлупа, кости курицы, фрагменты раковин двусторчатых моллюсков, мел, мрамор, известняк, гипс, апатит, молочный кварц. Некоторые из выданных объектов содержат карбонат кальция. Подумайте, какие это могут быть объекты. Кратко обоснуйте своё предположение.

Предложите экспериментальный метод проверки выдвинутого предположения. Спланируйте эксперимент, позволяющий подтвердить или опровергнуть ваше предположение. Осуществите эксперимент в соответствии с предложенным планом. Во время выполнения опытов проводите фото- и видеофиксацию наблюдаемых изменений. Составьте отчёт о проведённом экспериментальном исследовании, проиллюстрируйте его соответствующими фотографиями и видеоматериалами, уравнениями химических реакций. На основании полученных результатов сделайте выводы.

Предложите метод количественной оценки содержания карбоната кальция в исследуемых объектах. Спланируйте эксперимент, позволяющий реализовать вашу идею. Допускается использование только выданного оборудования. Осуществите эксперимент в соответствии с предложенным планом, полученные результаты занесите в таблицу.

### **Результаты гравиметрического анализа содержания карбоната кальция в исследуемых объектах**

Исследуемый объект	Масса навески исследуемого образца, г	Масса выделившегося углекислого газа, г	Массовая доля карбоната кальция в исследуемом объекте, %

На основании полученных результатов сделайте выводы.



Контрольные вопросы:

1. Можно ли назвать гипотезой ваше первоначально выдвинутое предположение о содержании карбоната кальция в объектах, выданных для исследования? Приведите не менее двух аргументов в пользу своего утверждения.

2. Какой состав имеет минерал кальцит (известковый шпат)? Опишите его свойства, природные разновидности.

3. Как образуются природные месторождения карбонатных пород?

4. Какие методы можно использовать для количественного определения содержания карбоната кальция в исследуемых объектах? Подробно рассмотрите один из возможных методов.

*Критерии оценивания письменной работы*

Содержание деятельности школьника и указания по оцениванию	Баллы
1. Выдвинута рабочая гипотеза, предложено её разумное обоснование	2
2. Сформулирована цель экспериментального исследования, разработан его план	1
3. Выполнен химический эксперимент в соответствии с разработанным планом	2
4. Химический эксперимент выполнен в соответствии с правилами техники безопасности	2
5. Оформлен отчёт о проведённом исследовании	3
6. Сформулированы выводы, которые являются логичным следствием обобщения полученных результатов и соответствуют поставленной цели исследования	1
7. Даны обстоятельные ответы на контрольные вопросы	4
Итого: максимальное число баллов	15

### Итоговая аттестация

Для осуществления итоговой аттестации используются контрольно-оценочные материалы, содержание которых ориентировано на проверку усвоения системы знаний и определяется системой требований к подготовке выпускников. Эта система инвариантна по отношению ко всем действующим ОП по химии для общеобразовательных организаций. Задания итоговой аттестации включают материал основных разделов курса химии и имеют три уровня сложности: базовый, повышенный и высокий.

Итоговая письменная работа построена по единому плану и включает три части. Части 1 и 2 имеют структуру типового варианта Единого государственного экзамена (ЕГЭ) по химии. Первая часть содержит задания с кратким ответом (1—26), вторая часть — задания, требующие развёрнутого ответа (задания 27—33). Третья часть (задания 34, 35) предполагает проведение экспериментального исследования, которое предусматривает проверку умения обучающихся прогнозировать возможность протекания химических реакций, состав образующихся продуктов. Для выполнения заданий этой части работы необходимо спланировать эксперимент, отобрать реактивы. По окончании выполнения опытов обучающиеся составляют отчёт о проведённом экспериментальном исследовании, в котором формулируют цель работы, описывают наблюдаемые изменения, интерпретируют полученные результаты, делают соответствующие выводы.



Контрольно-оценочные материалы  
Вариант письменной работы для итоговой аттестации

Часть 1

Для выполнения заданий 1—3 используйте следующий ряд химических элементов:

1) Mg      2) K      3) Cr      4) S      5) He

Ответом в заданиях 1—3 является последовательность цифр, под которыми указаны химические элементы в данном ряду.

1. Определите, атомы каких из указанных в ряду элементов в основном состоянии содержат одинаковое число электронных пар на внешнем электронном слое.

2. Из указанных в ряду химических элементов выберите три элемента-металла. Расположите выбранные элементы в порядке возрастания основных свойств их высших оксидов.

3. Из числа указанных в ряду элементов выберите два элемента, которые в оксидах могут проявлять степень окисления +2.

4. Из предложенного перечня выберите вещества немолекулярного строения с ковалентной неполярной связью.

- 1) пероксид бария                      3) хлорид кальция                      5) алмаз  
2) белый фосфор                      4) этан

5. Из предложенного перечня выберите вещества, с каждым из которых хлор реагирует без нагревания.

- 1) бромид цинка (р-р)                      4) серная кислота (конц.)  
2) гидроксид кальция (водн. суспензия)                      5) кислород  
3) оксид кремния (IV)

6. Даны две пробирки с раствором гидрокарбоната бария. В одну из них добавили раствор вещества X, а в другую — раствор вещества Y. В результате в пробирке с веществом X наблюдали выделение газа, а в пробирке с веществом Y наблюдали выпадение осадка.

Из предложенного перечня выберите вещества X и Y, которые могут вступать в описанные реакции.

- 1) углекислый газ                      4) ацетат аммония  
2) азотная кислота                      5) гидроксид кальция  
3) карбонат бария

X	Y



7. Установите соответствие между формулой вещества и реагентами, с каждым из которых это вещество может взаимодействовать.

ФОРМУЛА ВЕЩЕСТВА

- А)  $Cu_2O$
- Б)  $HNO_3$  (разб.)
- В)  $AgNO_3$
- Г)  $Be(OH)_2$

РЕАГЕНТЫ

- 1)  $HNO_3$ ,  $CO$ ,  $H_2$
- 2)  $HCl$  (конц.),  $FeS$ ,  $Zn(NO_3)_2$
- 3)  $CuO$ ,  $Cu(OH)_2$ ,  $Cu$
- 4)  $HCl$  (разб.),  $Pb$ ,  $RbI$
- 5)  $KOH$ ,  $HF$ ,  $HCl$

А	Б	В	Г

8. Установите соответствие между реагирующими веществами и продуктами их взаимодействия.

РЕАГИРУЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА

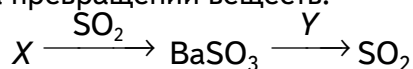
- А)  $Cl_2$  и горячий раствор  $NaOH$
- Б)  $ClO_2$  и холодный раствор  $NaOH$
- В)  $Cl_2O$  и холодный раствор  $NaOH$
- Г)  $Cl_2O_7$  и разб. раствор  $NaOH$

ПРОДУКТЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

- 1)  $NaClO$ ,  $NaCl$  и  $H_2O$
- 2)  $NaClO_3$ ,  $NaCl$  и  $H_2O$
- 3)  $NaCl$  и  $H_2O$
- 4)  $NaClO$  и  $H_2O$
- 5)  $NaClO_2$ ,  $NaClO_3$  и  $H_2O$
- 6)  $NaClO_4$  и  $H_2O$

А	Б	В	Г

9. Задана следующая схема превращений веществ:



веществами  $X$  и  $Y$  соответственно являются:

- 1)  $Ba(NO_3)_2$
- 2)  $Ba(OH)_2$
- 3)  $HNO_3$  (конц.)
- 4)  $BaCl_2$
- 5)  $HCl$

$X$	$Y$

10. Установите соответствие между формулой вещества и классом/группой органических соединений, к которому(-ой) это вещество принадлежит.

ФОРМУЛА ВЕЩЕСТВА

- А)  $(C_6H_{10}O_5)_n$
- Б)  $HSOOC_2H_5$
- В)  $CH_3OCH_3$

КЛАСС/ГРУППА

- 1) карбоновые кислоты
- 2) углеводы
- 3) углеводороды
- 4) сложные эфиры
- 5) простые эфиры

А	Б	В



11. Из предложенного перечня соединений выберите два таких, молекулы которых содержат атом(ы) углерода с  $sp^3$ -гибридными орбиталями.

- |                      |              |
|----------------------|--------------|
| 1) стирол            | 4) изопрен   |
| 2) 1,4-диметилбензол | 5) хлоропрен |
| 3) дивинил           |              |

X	Y

12. Из предложенного перечня выберите вещества, с которыми может взаимодействовать глицерин.

- |                        |                           |
|------------------------|---------------------------|
| 1) вода                | 4) гидроксид железа (III) |
| 2) гидроксид меди (II) | 5) азот                   |
| 3) азотная кислота     |                           |

\_\_\_\_\_.

13. Из предложенного перечня выберите два вещества, с которыми может взаимодействовать диэтиламин.

- |                    |             |
|--------------------|-------------|
| 1) иодоводород     | 4) бромэтан |
| 2) бензол          | 5) анилин   |
| 3) гидроксид калия |             |

X	Y

14. Установите соответствие между названием вещества и основным продуктом его неполного гидрирования.

НАЗВАНИЕ ВЕЩЕСТВА

ПРОДУКТ НЕПОЛНОГО ГИДРИРОВАНИЯ

- |                  |             |                   |
|------------------|-------------|-------------------|
| А) изопрен       | 1) пентин-1 | 4) 2-метилбутан   |
| Б) дивинил       | 2) пентен-2 | 5) 2-метилбутен-2 |
| В) пропин        | 3) бутен-2  | 6) пропилен       |
| Г) пентадиен-1,3 |             |                   |

A	Б	В	Г

15. Установите соответствие между схемой реакции и веществом X, принимающим в ней участие.

СХЕМА РЕАКЦИИ

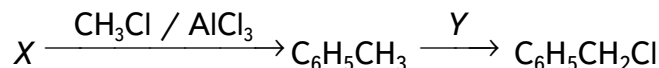
ВЕЩЕСТВО X

- |   |                       |
|---|-----------------------|
| А) ацетон $\xrightarrow{X}$ изопропанол     | 1) $H_2SO_4$          |
| Б) этанол $\xrightarrow{X}$ ацетат калия    | 2) $KMnO_4 (H_2SO_4)$ |
| В) этанол $\xrightarrow{X}$ ацетальдегид    | 3) $KMnO_4 (KOH)$     |
| Г) этанол $\xrightarrow{X}$ диэтиловый эфир | 4) $CuO$              |
|   | 5) $KOH$              |
|   | 6) $H_2 (Pt)$         |

A	Б	В	Г



16. Задана следующая схема превращений веществ:



Определите, какие из указанных веществ являются веществами X и Y.

- |               |                 |                              |
|---------------|-----------------|------------------------------|
| 1) бензол     | 3) хлороводород | 5) хлор (FeCl <sub>3</sub> ) |
| 2) хлорбензол | 4) хлор (свет)  |                              |

X	Y

17. Из предложенного перечня выберите все суждения, которые справедливы для реакции:



- 1) является эндотермической реакцией
- 2) относится к каталитическим реакциям
- 3) относится к окислительно-восстановительным реакциям
- 4) повышение давления увеличивает скорость окисления аммиака
- 5) понижение температуры увеличивает скорость данной реакции.

18. Установите соответствие между уравнением реакции в ионной форме и окислительно-восстановительными свойствами ионов, которые они проявляют в этих реакциях.

УРАВНЕНИЕ РЕАКЦИИ

- A)  $\text{Fe}^{2+} + 2\text{OH}^- = \text{Fe}(\text{OH})_2$
- Б)  $2\text{Fe}^{2+} + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{Fe}^{3+} + 2\text{Cl}^-$
- В)  $\text{Fe} + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{H}_2$

СВОЙСТВА ИОНОВ

- 1) проявляют окислительные свойства
- 2) проявляют восстановительные свойства
- 3) не проявляют ни окислительных, ни восстановительных свойств

A	Б	В

19. Установите соответствие между формулой вещества и продуктами электролиза водного раствора этого вещества, которые выделились на инертных электродах.

ФОРМУЛА ВЕЩЕСТВА

- A) FeBr<sub>2</sub>
- Б) MgSO<sub>4</sub>
- В) Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

ПРОДУКТЫ ЭЛЕКТРОЛИЗА

- 1) водород и кислород
- 2) металл и кислород
- 3) металл, водород и кислород
- 4) металл и галоген
- 5) металл, водород и галоген

A	Б	В



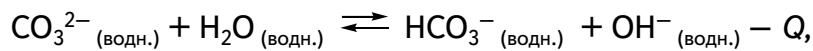
20. Для веществ, приведённых в перечне, определите среду их водных растворов с одинаковой молярной концентрацией.

- 1) хлорид калия
- 2) нитрат аммония
- 3) соляная кислота
- 4) ортофосфат натрия

Запишите номера веществ в порядке возрастания значения pH их водных растворов.

--	--	--	--

21. Установите соответствие между способом воздействия на равновесную систему, в которой протекает реакция



и направлением смещения равновесия при этом воздействии.

**СПОСОБЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ**

**НАПРАВЛЕНИЕ СМЕЩЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ**

- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>А) введение катализатора</li> <li>Б) повышение давления</li> <li>В) добавление раствора щелочи</li> <li>Г) повышение температуры</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>1) в сторону продуктов реакции</li> <li>2) в сторону исходных веществ</li> <li>3) практически не смещается</li> </ul> |
|--|--|

А	Б	В	Г

22. Установите соответствие между двумя веществами, взятыми в виде водных растворов, и реактивом, с помощью которого можно различить эти вещества.

**ФОРМУЛЫ ВЕЩЕСТВ**

**РЕАГЕНТ**

- |  |   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>А) MgCl<sub>2</sub> и Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub></li> <li>Б) Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> и MgSO<sub>4</sub></li> <li>В) AlCl<sub>3</sub> и CaCl<sub>2</sub></li> <li>Г) HCl и HNO<sub>3</sub></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>1) NaBr (р-р)</li> <li>2) AgNO<sub>3</sub> (р-р)</li> <li>3) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></li> <li>4) NaOH (р-р)</li> <li>5) CH<sub>3</sub>CHO (р-р)</li> </ul> |
|--|---|

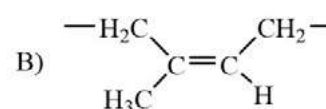
А	Б	В	Г

23. Установите соответствие между структурным звеном полимера и названием этого полимера.

**СТРУКТУРНОЕ ЗВЕНО**

**НАЗВАНИЕ ПОЛИМЕРА**

<p>А) </p> <p>Б) </p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) полиэтилтерeftалат</li> <li>2) полипропилен</li> <li>3) природный каучук</li> <li>4) бутадиеновый каучук</li> <li>5) фенолформальдегидная смола</li> </ul>
-----------------------	--



А	Б	В



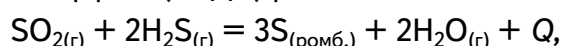
**24.** В таблице приведена растворимость нитрата калия (в граммах соли на 100 г воды) при различной температуре.

Температура, °С	10	20	30	40	60	80
Растворимость, г на 100 г воды	21,2	31,6	46,0	61,3	106,2	166,6

Определите, сколько граммов нитрата калия выпадет в осадок при охлаждении 300 г насыщенного при 60 °С раствора до температуры 20 °С. В ответе запишите число с точностью до целых.

\_\_\_\_\_.

**25.** Определите тепловой эффект (в кДж) реакции:



если известно, что при образовании 8 г серы выделяется 12 кДж энергии. В ответе запишите число с точностью до целых.

\_\_\_\_\_.

**26.** Соединение хлора с фосфором, содержащее  $1,204 \cdot 10^{22}$  атомов элемента в высшей степени окисления, полностью прореагировало с водой. Какой объём (в миллилитрах) раствора гидроксида калия с массовой долей 10% (плотность раствора 1,07 г/мл) необходим для полной нейтрализации полученного раствора? В ответе запишите число с точностью до десятых.

\_\_\_\_\_.

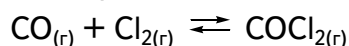
## Часть 2

Для выполнения заданий 27, 28 используйте следующий перечень веществ: серная кислота (разб.), уксусная кислота, перманганат калия, нитрат алюминия, сульфид натрия, сульфит кальция. Допустимо использование водных растворов веществ.

**27.** Из предложенного перечня выберите вещества, между которыми возможна окислительно-восстановительная реакция, которая протекает с образованием простого вещества. Запишите уравнение этой реакции. Составьте электронный баланс, укажите окислитель и восстановитель.

**28.** Из предложенного перечня веществ выберите две соли, между которыми возможна реакция ионного обмена. Запишите молекулярное, полное и сокращённое ионные уравнения реакции с участием выбранных веществ.

**29.** В реакторе, объём которого 10 л, смешали 15 моль угарного газа и 10 моль хлора. Известно, что к моменту установления равновесия



в реакцию вступило 80%  $\text{Cl}_2$ . Определите концентрации веществ в равновесной смеси.

**30.** Водный раствор сульфата меди (II) подвергли электролизу. На одном из электродов выделился газ, в котором сожгли натрий. Над полученным твёрдым веществом пропустили углекислый газ. В результате реакции образовалось твёрдое вещество, которое растворили в воде. Через полученный раствор пропустили избыток оксида серы (IV).

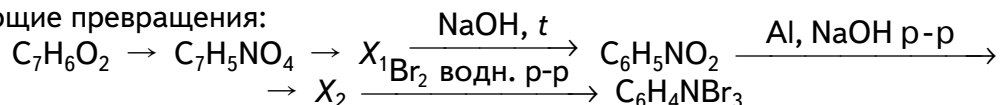




Напишите уравнения четырёх описанных реакций.

**31.** Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить

следующие превращения:



При написании уравнений реакций указывайте преимущественно образующиеся продукты, используйте структурные формулы органических веществ.

**32.** Карбонат магния нагревали в течение некоторого времени. Массовая доля атомов магния в полученном твёрдом остатке составила 34,62%. Этот остаток полностью растворили в 200 г разбавленной серной кислоты. При этом образовался раствор массой 206 г. Выделившийся в результате реакции газ полностью поглотили 112 г 5%-го раствора гидроксида калия. Вычислите массовую долю соли в растворе, получившемся в результате поглощения газа раствором щелочи.

В ответе запишите уравнения реакций, которые указаны в условии задачи, и приведите все необходимые вычисления (указывайте единицы измерения искомых физических величин).

**33.** Бромсодержащее органическое вещество *A* реагирует с бромоводородом, при этом образуется соединение *B*. Вещество *B* состоит из четырёх элементов и содержит (в процентах по массе) 2,77% водорода, 5,53% азота и 63,24% брома. Известно, что в молекуле вещества *A* все атомы углерода являются вторичными, атом брома максимально удалён от атома азота.

На основании данных условий выполните следующие задания:

1) Проведите необходимые вычисления (указывайте единицы измерения искомых физических величин) и установите молекулярную формулу вещества *B*.

2) Составьте возможную структурную формулу вещества *B*, которая однозначно отражает порядок связи атомов в его молекуле.

3) Напишите уравнение реакции превращения *A* в *B* (используйте структурные формулы органических веществ).

4) Вещество *A* реагирует с нитритом натрия в присутствии соляной кислоты. В результате реакции выделяется газ без цвета и запаха, а также образуется органическое соединение *B*. Рассчитайте массу вещества *B*, образующегося из 17,2 г вещества *A*, если выход реакции составляет 80%.

### Часть 3

**34.** В пяти пронумерованных пробирках находятся растворы хлорида, сульфата, карбоната и фосфата натрия, а также вода. Предложите способ определения выданных веществ и осуществите его на практике. Учтите, что наиболее рациональным способом решения данной задачи является тот, в котором задействовано минимальное число реактивов. Опишите ход исследования, объясните наблюдения. Ответ подтвердите молекулярными и ионными уравнениями осуществлённых реакций.

**35.** Получите ацетальдегид окислением этанола. Проведите не менее двух качественных реакций, подтверждающих принадлежность продукта реакции к альдегидам.

Опишите ход синтеза и исследования продукта реакции. Объясните наблюдения. Ответ подтвердите уравнениями реакций.



## Критерии оценки

## Часть 1

Номер задания	Правильный ответ	Максимально возможное количество баллов
1.	15	1
2.	312	1
3.	13	1
4.	15	1
5.	12	1
6.	25	2
7.	1345	2
8.	2546	2
9.	25	2
10.	245	1
11.	24	1
12.	23	1
13.	14	1
14.	5362	2
15.	6341	2
16.	14	1
17.	234	1
18.	321	1
19.	511	1
20.	3214	1
21.	3321	2
22.	2442	2
23.	513	1
24.	108; 109	1
25.	144	1
26.	83,7	1



## Часть 2

Для выполнения заданий 27, 28 используйте следующий перечень веществ: серная кислота (разб.), уксусная кислота, перманганат калия, нитрат алюминия, сульфид натрия, сульфит кальция. Допустимо использование водных растворов веществ.

27. Из предложенного перечня выберите вещества, между которыми возможна окислительно-восстановительная реакция, которая протекает с образованием простого вещества. Запишите уравнение этой реакции. Составьте электронный баланс, укажите окислитель и восстановитель.

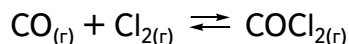
Содержание верного ответа и указания по оцениванию (допускаются иные формулировки ответа, не искажающие его смысла)	Баллы
Вариант ответа: $2\text{KMnO}_4 + 5\text{Na}_2\text{S} + 8\text{H}_2\text{SO}_4 = 2\text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + 5\text{Na}_2\text{SO}_4 + 5\text{S}\downarrow + 8\text{H}_2\text{O}$ $\begin{array}{l} 2 \mid \text{Mn}^{+7} + 5\text{e}^- \rightarrow \text{Mn}^{+2} \\ 5 \mid \text{S}^{-2} - 2\text{e}^- \rightarrow \text{S}^0 \end{array}$ Сульфид натрия (или сера в степени окисления $-2$ ) является восстановителем. Перманганат калия (или марганец в степени окисления $+7$ ) — окислителем	
Ответ правильный и полный, содержит следующие элементы: • выбраны вещества, и записано уравнение окислительно-восстановительной реакции; • составлен электронный баланс, указаны окислитель и восстановитель	2
Правильно записан один элемент ответа	1
Все элементы ответа записаны неверно	0
<i>Максимальный балл</i>	2

28. Из предложенного перечня веществ выберите две соли, между которыми возможна реакция ионного обмена. Запишите молекулярное, полное и сокращённое ионное уравнения реакции с участием выбранных веществ.

Содержание верного ответа и указания по оцениванию (допускаются иные формулировки ответа, не искажающие его смысла)	Баллы
Вариант ответа: $2\text{Al}(\text{NO}_3)_3 + 3\text{Na}_2\text{S} + 6\text{H}_2\text{O} = 2\text{Al}(\text{OH})_3\downarrow + 3\text{H}_2\text{S}\uparrow + 6\text{NaNO}_3$ $2\text{Al}^{3+} + 6\text{NO}_3^- + 6\text{Na}^+ + 3\text{S}^{2-} + 6\text{H}_2\text{O} = 2\text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{H}_2\text{S} + 6\text{Na}^+ + 6\text{NO}_3^-$ $2\text{Al}^{3+} + 3\text{S}^{2-} + 6\text{H}_2\text{O} = 2\text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{H}_2\text{S}$	
Ответ правильный и полный содержит следующие элементы: • выбраны вещества и записано молекулярное уравнение реакции ионного обмена; • записаны полное и сокращённое ионные уравнения реакций	2
Правильно записан один элемент ответа	1
Все элементы ответа записаны неверно	0
<i>Максимальный балл</i>	2



29. В реакторе, объём которого 10 л, смешали 15 моль угарного газа и 10 моль хлора. Известно, что к моменту установления равновесия



в реакцию вступило 80%  $\text{Cl}_2$ . Определите концентрации веществ в равновесной смеси.

Содержание верного ответа и указания по оцениванию (допускаются иные формулировки ответа, не искажающие его смысла)	Баллы
Вариант ответа: Рассчитаны исходные концентрации угарного газа и хлора: $[\text{CO}]_{\text{исх.}} = \frac{15 \text{ моль}}{10 \text{ л}} = 1,5 \text{ моль/л}$ Рассчитаны концентрации веществ в равновесной смеси: $[\text{CO}]_{\text{равн.}} = 1,5 \text{ моль/л} - 0,8 \text{ моль/л} = 0,7 \text{ моль/л}$ $[\text{Cl}_2]_{\text{равн.}} = 1,0 \text{ моль/л} - 0,8 \text{ моль/л} = 0,2 \text{ моль/л}$ $[\text{COCl}_2]_{\text{равн.}} = 0,8 \text{ моль/л}$	
Ответ правильный и полный: • рассчитаны равновесные концентрации хлора, угарного газа и фосгена	2
Правильно записан один элемент ответа	1
Все элементы ответа записаны неверно	0
<i>Максимальный балл</i>	2

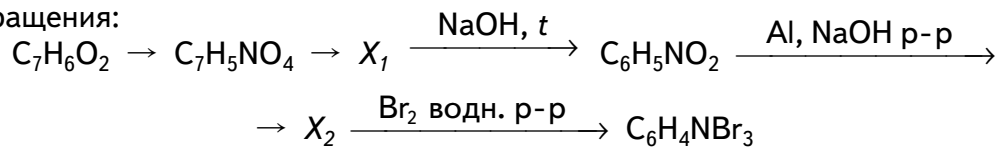
30. Водный раствор сульфата меди (II) подвергли электролизу. На одном из электродов выделился газ, в котором сожгли натрий. Над полученным твёрдым веществом пропустили углекислый газ. В результате реакции образовалось твёрдое вещество, которое растворили в воде. Через полученный раствор пропустили избыток оксида серы (IV).

Напишите уравнения четырёх описанных реакций.

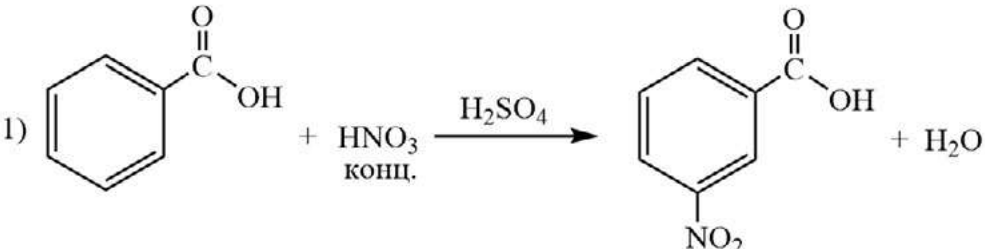
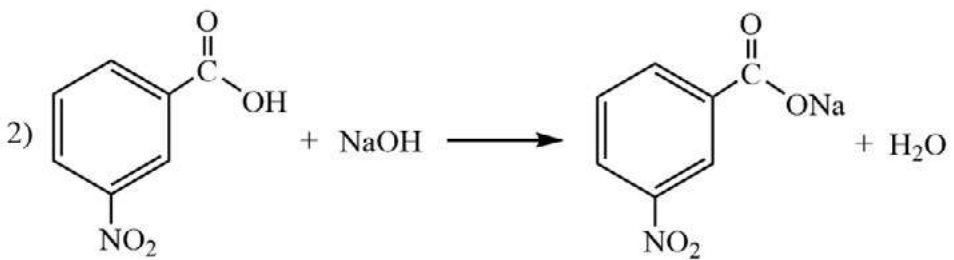
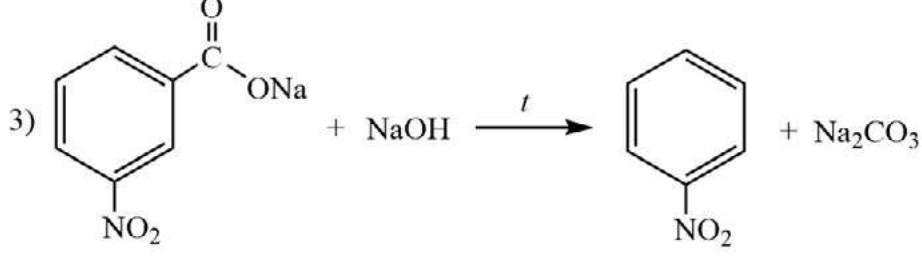
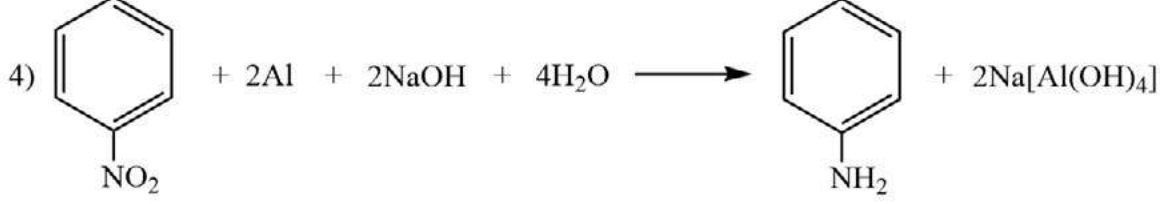
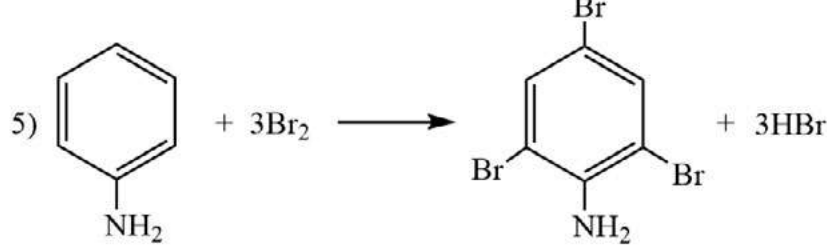
Содержание верного ответа и указания по оцениванию (допускаются иные формулировки ответа, не искажающие его смысла)	Баллы
Вариант ответа: 1) $2\text{CuSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{Cu} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{O}_2 \uparrow$ (электролиз) 2) $\text{O}_2 + 2\text{Na} = \text{Na}_2\text{O}_2$ 3) $2\text{Na}_2\text{O}_2 + 2\text{CO}_2 = \text{O}_2 \uparrow + 2\text{Na}_2\text{CO}_3$ 4) $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} = 2\text{NaHSO}_3$	
Правильно записаны четыре уравнения реакций	4
Правильно записаны три уравнения реакций	3
Правильно записаны два уравнения реакций	2
Правильно записано одно уравнение реакции	1
Все уравнения реакций записаны неверно	0
<i>Максимальный балл</i>	4



31. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить следующие превращения:



При написании уравнений реакций указывайте преимущественно образующиеся продукты, используйте структурные формулы органических веществ.

Содержание верного ответа и указания по оцениванию (допускаются иные формулировки ответа, не искажающие его смысла)	Баллы
<p>Вариант ответа:</p> <p>1) </p> <p>2) </p> <p>3) </p> <p>4) </p> <p>5) </p>	
Правильно записаны пять уравнений реакций	5
Правильно записаны четыре уравнения реакций	4



Продолжение

Содержание верного ответа и указания по оцениванию (допускаются иные формулировки ответа, не искажающие его смысла)	Баллы
Правильно записаны три уравнения реакций	3
Правильно записаны два уравнения реакций	2
Правильно записано одно уравнение реакции	1
Все уравнения реакций записаны неверно	0
<i>Максимальный балл</i>	5

**32.** Карбонат магния нагревали в течение некоторого времени. Массовая доля атомов магния в полученном твёрдом остатке составила 34,62%. Этот остаток полностью растворили в 200 г разбавленной серной кислоты. При этом образовался раствор массой 206 г. Выделившийся в результате реакции газ полностью поглотили 112 г 5%-го раствора гидроксида калия. Вычислите массовую долю соли в растворе, получившемся в результате поглощения газа раствором щелочи.

В ответе запишите уравнения реакций, которые указаны в условии задачи, и приведите все необходимые вычисления (указывайте единицы измерения искомых физических величин).

Содержание верного ответа и указания по оцениванию (допускаются иные формулировки ответа, не искажающие его смысла)	Баллы
Вариант ответа Записаны уравнения реакций: [1] $\text{MgCO}_3 = \text{MgO} + \text{CO}_2$ $\text{MgCO}_3 + 2\text{HCl} = \text{MgCl}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ [3] $\text{MgO} + 2\text{HCl} = \text{MgCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ [4] $\text{CO}_2 + \text{KOH} = \text{KHCO}_3$ Рассчитаны количества веществ реагентов и массы продуктов реакций: $\Delta m(\text{p-ра}) = 206 - 200 = 6 \text{ г}$ Пусть в твёрдом остатке $n(\text{MgO}) = x \text{ моль}$ $n(\text{MgCO}_3) = y \text{ моль,}$ тогда $\Delta m(\text{p-ра}) = 40x + 84y - 44y = 6 \text{ г}$ $\omega(\text{Mg}) = 24(x + y) / (40x + 84y) = 0,3462$ $n(\text{MgO}) = x = 0,05 \text{ моль}$ $n(\text{MgCO}_3) = y = 0,1 \text{ моль}$ $n(\text{CO}_2) = n(\text{MgCO}_3) = 0,1 \text{ моль}$ $m(\text{CO}_2) = 0,1 \cdot 44 = 4,4 \text{ г}$ $m(\text{KOH}) = 112 \cdot 0,05 = 5,6 \text{ г}$ $n(\text{KOH}) = 5,6 / 56 = 0,1 \text{ моль}$ $n(\text{KHCO}_3) = n(\text{KOH}) = 0,1 \text{ моль}$ $m(\text{KHCO}_3) = 0,1 \cdot 100 = 10 \text{ г}$ Вычислена массовая доля соли в растворе: $m(\text{p-ра}) = 112 + 4,4 = 116,4 \text{ г}$ $\omega(\text{KHCO}_3) = 10 / 116,4 = 0,086$ , или 8,6%	



Продолжение

Содержание верного ответа и указания по оцениванию (допускаются иные формулировки ответа, не искажающие его смысла)	Баллы
<p>Ответ правильный и полный, содержит следующие элементы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• правильно записаны уравнения реакций, соответствующих условию задания;</li> <li>• правильно произведены вычисления, в которых используются необходимые физические величины, заданные в условии задания;</li> <li>• продемонстрирована логически обоснованная взаимосвязь физических величин, на основании которых проводятся расчёты;</li> <li>• в соответствии с условием задания определена искомая физическая величина</li> </ul>	4
Правильно записаны три элемента ответа	3
Правильно записаны два элемента ответа	2
Правильно записан один элемент ответа	1
Все элементы ответа записаны неверно	0
<i>Максимальный балл</i>	4

**33.** Бромсодержащее органическое вещество *A* реагирует с бромоводородом, при этом образуется соединение *B*. Вещество *B* состоит из четырёх элементов и содержит (в процентах по массе) 2,77% водорода, 5,53% азота и 63,24% брома. Известно, что в молекуле вещества *A* все атомы углерода являются вторичными, атом брома максимально удалён от атома азота.

На основании данных условий выполните следующие задания.

1) Проведите необходимые вычисления (указывайте единицы измерения искомых физических величин) и установите молекулярную формулу вещества *B*.

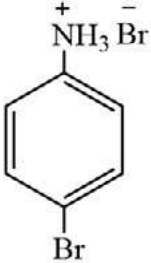
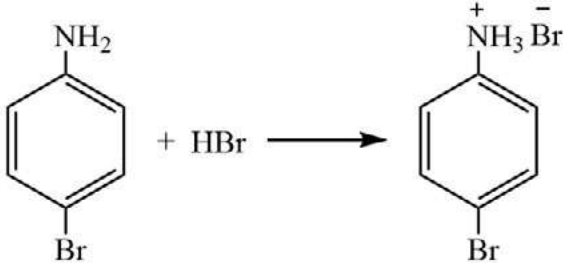
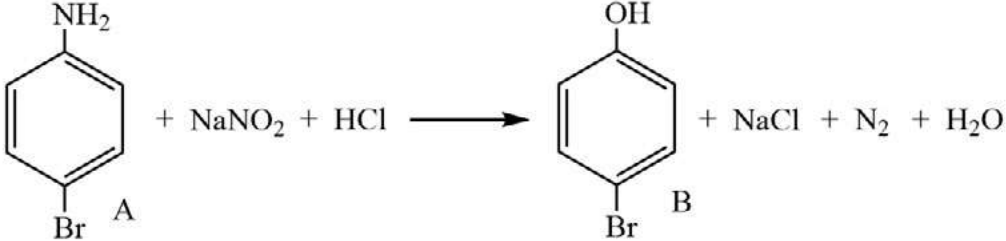
2) Составьте возможную структурную формулу вещества *B*, которая однозначно отражает порядок связи атомов в его молекуле.

3) Напишите уравнение реакции превращения *A* в *B* (используйте структурные формулы органических веществ).

4) Вещество *A* реагирует с нитритом натрия в присутствии соляной кислоты. В результате реакции выделяется газ без цвета и запаха, а также образуется органическое соединение *B*. Рассчитайте массу вещества *B*, образующегося из 17,2 г вещества *A*, если выход реакции составляет 80%.

Содержание верного ответа и указания по оцениванию (допускаются иные формулировки ответа, не искажающие его смысла)	Баллы
<p>Вариант ответа</p> <p>Проведены необходимые вычисления и найдена молекулярная формула вещества <i>B</i>:</p> $B - C_xH_yN_zBr_k$ <p>Пусть <math>m(B) = 100</math> г, тогда</p> $m(C) = 100 - 2,77 - 5,53 - 63,24 = 28,46 \text{ г}$ $x : y : z : k = \frac{28,46}{12} : \frac{2,77}{1} : \frac{5,53}{14} : \frac{63,24}{80} =$ $= 2,37 : 2,77 : 0,395 : 0,791 = 6 : 7 : 1 : 2$ <p>Молекулярная формула <i>B</i> — <math>C_6H_7NBr_2</math></p>	

Продолжение

Содержание верного ответа и указания по оцениванию (допускаются иные формулировки ответа, не искажающие его смысла)	Баллы
<p>Приведена структурная формула вещества <i>Б</i>:</p>  <p>Составлено уравнение реакции <i>А</i> с бромоводородом:</p>  <p>Рассчитана масса вещества <i>В</i>:</p>  $m(B) = \frac{17,2}{172} \cdot 0,8 \cdot 173 = 13,84 \text{ г}$	
<p>Ответ правильный и полный содержит следующие элементы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• правильно произведены вычисления, необходимые для установления молекулярной формулы вещества, и записана молекулярная формула вещества;</li> <li>• записана структурная формула органического вещества, которая отражает порядок связи, взаимное расположение заместителей и функциональных групп в молекуле в соответствии с условием задания;</li> <li>• с использованием структурной формулы органического вещества записано уравнение реакции, на которую даётся указание в условии задания;</li> <li>• рассчитана масса образовавшегося вещества <i>В</i></li> </ul>	4
<p>Правильно записаны три элемента ответа</p>	3
<p>Правильно записаны два элемента ответа</p>	2
<p>Правильно записан один элемент ответа</p>	1
<p>Все элементы ответа записаны неверно</p>	0
<p>Максимальный балл</p>	4





## Часть 3

**34.** В пяти пронумерованных пробирках находятся растворы хлорида, сульфата, карбоната и фосфата натрия, а также вода. Предложите способ определения выданных веществ и осуществите его на практике. Учтите, что наиболее рациональным способом решения данной задачи является тот, в котором задействовано минимальное число реактивов. Опишите ход исследования, объясните наблюдения. Ответ подтвердите молекулярными и ионными уравнениями осуществлённых реакций.

Допускаются иные решения экспериментальной задачи, не искажающие её смысла.

Определяемые вещества \ Реактивы	NaCl	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O
Соляная кислота	Изменений нет	Изменений нет	Бурное выделение газа без цвета и без запаха	Изменений нет	Изменений нет
Фенолфталеин	Раствор остался бесцветным	Раствор остался бесцветным	_____	Индикатор принял малиновую окраску	Раствор остался бесцветным
Раствор хлорида бария	Изменений нет	Выпадает осадок белого цвета	_____	_____	Изменений нет
Раствор нитрата серебра	Выпадает творожистый осадок белого цвета	_____	_____	_____	Изменений нет

Ответ правильный и полный содержит следующие элементы:

- предложен оптимальный план распознавания выданных веществ;
- план реализован на практике, верно определены все пять веществ;
- описан ход исследования, объяснены наблюдаемые изменения;
- верно записаны уравнения реакций.

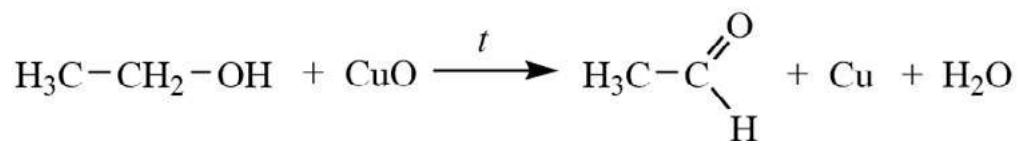
Максимальный балл 4

**35.** Получите ацетальдегид окислением этанола. Проведите не менее двух качественных реакций, подтверждающих принадлежность продукта реакции к альдегидам.

Опишите ход синтеза и исследования продукта реакции. Объясните наблюдения. Ответ подтвердите уравнениями реакций.



Допускаются иные решения экспериментальной задачи, не искажающие её смысла



Ответ правильный и полный содержит следующие элементы:

- предложен оптимальный план синтеза ацетальдегида;
- план реализован на практике, с полученным продуктом проведены две качественные реакции на альдегиды (реакция «серебряного зеркала», реакция восстановления свежеосаждённого гидроксида меди (II) или реакция с фуксинсернистой кислотой);
- описан ход синтеза, объяснены наблюдаемые изменения;
- верно записаны уравнения реакций.

Максимальный балл 4



Тематическое планирование

№ п/п	Тема	Содержание	Целевая установка урока	Кол-во часов	Планируемые результаты	Использование оборудования
<b>1. Методы научного познания</b>						
1.	Химическое познание и его методы. Эксперимент — ведущий метод научного познания окружающего мира	Лабораторный опыт «Экспериментальная проверка гипотезы. Определение содержания карбоната кальция в различных объектах»	Знать методы научного познания. Понимать взаимосвязь методов научного познания. Уметь различать теоретические и экспериментальные методы исследования	1	Уметь формулировать гипотезу, разрабатывать план её экспериментальной проверки. Уметь интерпретировать результаты экспериментального исследования, формулировать выводы	Лабораторные весы, нагревательная плитка
2.	Качественное определение углерода, водорода и хлора в органических веществах	Практическое занятие «Определение качественного состава органического вещества»	Уметь различать теоретические и экспериментальные методы исследования. Уметь реализовывать план экспериментальной проверки гипотезы, интерпретировать результаты исследования	1	Уметь экспериментально доказывать элементный состав исследуемого вещества на основании качественных реакций	Датчик температуры термометрический, спиртовка
<b>2. Органическая химия</b>						
3.	Получение этилена и изучение его свойств	Лабораторный опыт «Взаимодействие этилена с раствором перманганата калия»	Знать свойства этилена. Выявлять учебную проблему, предлагать её возможное объяснение, проверять выдвинутое предположение экспериментально	1	Уметь получать этилен дегидратацией этанола, экспериментально доказывать принадлежность этилена к непредельным соединениям	Датчик pH, спиртовка



4.	Получение ацетилена и изучение его свойств	Лабораторный опыт «Взаимодействие ацетилена с раствором перманганата калия»	Знать свойства ацетилена	1	Уметь получать ацетилен карбидным способом, экспериментально доказывать принадлежность ацетилена к непредельным соединениям	Датчик pH
5.	Исследование физических свойств спиртов	Опыт «Сравнение температуры кипения одноатомных спиртов». Опыт «Сравнение температур кипения изомеров». Опыт «Изучение испарения органических веществ»	Знать физические свойства предельных одноатомных спиртов. Уметь выявлять и объяснять зависимость свойств спиртов от их химического строения	1	Научиться определять температуры кипения спиртов, принадлежащих к одному гомологическому ряду. Объяснять зависимость температуры кипения спиртов от числа атомов углерода в молекуле, от строения углеродного скелета для изомеров. Объяснять изменение температуры при испарении спирта, эфира и жидкого алкана	Датчики температуры (терморезисторный и термоларный), баня комбинированная лабораторная
6.	Получение альдегидов	Лабораторный опыт «Тепловой эффект реакции окисления этанола»	Знать способы получения альдегидов	1	Научиться определять тепловой эффект реакции окисления этанола кислотным родом воздуха	Прибор для окисления спирта над медным катализатором, высокотемпературный датчик (термопара)
7.	Химические свойства фенола	Лабораторный опыт «Влияние нитрогрупп на кислотные свойства фенола»	Знать химические свойства фенола. Уметь сравнивать кислотные свойства спиртов, фенолов и их производных	1	Научиться экспериментально сравнивать кислотные свойства веществ и объяснять наблюдаемые различия	Датчик pH



Продолжение

№ п/п	Тема	Содержание	Целевая установка урока	Кол-во часов	Планируемые результаты	Использование оборудования
8.	Физические свойства карбоновых кислот	Лабораторный опыт «Сравнение температур плавления <i>цис</i> - и <i>транс</i> -изомеров». Лабораторный опыт «Определение температуры плавления стеариновой и пальмитиновой кислот»	Знать физические свойства карбоновых кислот. Объяснять зависимость температур плавления карбоновых кислот от их химического строения	1	Научиться экспериментально сравнивать температуры плавления карбоновых кислот и объяснять наблюдаемые различия. Определить температуры плавления стеариновой и пальмитиновой кислот; установить, можно ли использовать данный показатель (температуру плавления) для идентификации этих кислот	Датчик температуры (терморезисторный)
9.	Химические свойства карбоновых кислот	Лабораторный опыт «Определение электропроводности и pH раствора уксусной кислоты». Лабораторный опыт «Изучение силы одноосновных карбоновых кислот»	Знать химические свойства карбоновых кислот. Объяснять зависимость кислотных свойств карбоновых кислот от их химического строения	1	Интерпретировать результаты измерений pH и электропроводности растворов, делать выводы о силе исследуемых электролитов, в частности о силе карбоновых кислот	Датчик pH, датчик электропроводности
10.	Отдельные представители карбоновых кислот	Лабораторный опыт «Распознавание растворов органических кислот»	Знать свойства отдельных представителей карбоновых кислот. Объяснять зависимость их свойств от химического строения	1	Измерить pH выданных растворов органических кислот, на основании полученных результатов идентифицировать бензойную, салициловую и щавелевую кислоты	Датчик pH
11.	Свойства сложных эфиров	Лабораторный опыт «Щелочной гидролиз этилацетата»	Знать свойства сложных эфиров. Объяснять направленность реакции гидролиза сложных эфиров	1	Получить экспериментальные данные о зависимости pH раствора щелочи от времени в процессе гидролиза	Датчик pH



12.	Свойства предельных аминов	Лабораторный опыт «Сравнение основных свойств аммиака и метиламина»	Знать свойства предельных аминов. Уметь сравнивать свойства аминов со свойствами аммиака	1	Изучить основные свойства предельных аминов. Уметь объяснять результаты измерения рН раствора аммиака и предельных аминов	Датчик рН	сложного эфира. Объяснить полученные результаты
13.	Свойства ароматических аминов	Лабораторный опыт «Изучение основных свойств анилина»	Знать свойства ароматических аминов. Уметь сравнивать свойства ароматических и предельных аминов со свойствами аммиака	1	Изучить основные свойства анилина. Уметь объяснять результаты измерения рН растворов солей аммония, предельных и ароматических аминов	Датчик рН	
14.	Свойства аминокислот	Лабораторный опыт «Определение среды растворов аминокислот». Лабораторный опыт «Кислотные свойства аминокислот»	Знать свойства аминокислот. Уметь объяснять зависимость свойств аминокислот от их строения	1	Экспериментально определить рН растворов аминокислот. Исследовать взаимодействие α-аминокислот с соединениями меди и цинка. На основании полученных экспериментальных данных установить зависимость кислотно-основных свойств аминокислот от их химического строения	Датчик рН, датчик электропроводности	
15.	Исследование свойств пластмасс	Лабораторный опыт «Определение температур размягчения полимеров»	Знать состав, строение и свойства синтетических полимеров	1	Научиться экспериментально определять количественные характеристики полимеров, характеризующих их эксплуатационные свойства, в частности температуры размягчения	Датчик температуры (термопарный)	



Продолжение

№ п/п	Тема	Содержание	Целевая установка урока	Кол-во часов	Планируемые результаты	Использование оборудования
<b>3. Общая химия</b>						
16.	Зависимость скорости реакции от концентрации реагирующих веществ	Экспериментальное определение порядков скорости химической реакции	Знать зависимость скорости реакции от концентрации реагирующих веществ	1	Уметь получать кинетические данные и интерпретировать их для определения порядков скорости реакции	Магнитная мешалка
17.	Зависимость скорости реакции от температуры	Экспериментальное определение температурного коэффициента скорости реакции (коэффициента Вант-Гоффа) и энергии активации	Знать зависимость скорости реакции от температуры. Уметь применять эмпирическое правило Вант-Гоффа и уравнение Аррениуса для определения скорости химической реакции при различной температуре	1	Уметь получать кинетические данные и интерпретировать их для расчёта коэффициента Вант-Гоффа и энергии активации	Терморезисторный датчик температуры, магнитная мешалка, баня комбинированная лабораторная
18.	Растворение как физико-химический процесс	Лабораторный опыт «Тепловой эффект растворения веществ в воде»	Знать, какие процессы протекают при растворении веществ. Уметь объяснить тепловые эффекты, сопровождающие растворение веществ	1	Уметь экспериментально определить тепловой эффект растворения неорганических веществ: серной кислоты, гидроксида натрия и нитрата аммония	Терморезисторный датчик температуры
19.	Растворы, растворимость	Лабораторный опыт «Изучение зависимости растворимости вещества от температуры»	Уметь использовать понятие «растворимость» для определения насыщенных и ненасыщенных растворов. Уметь объяснять влияние различных факторов на растворимость веществ	1	Уметь экспериментально определять зависимость растворимости неорганических веществ от температуры	Терморезисторный датчик температуры, электролитка из комплекта комбинированной лабораторной бани



20.	Фотоколориметрическое определение концентрации ионов меди в выданном растворе	Экспериментальное определение концентрации ионов меди в выданном растворе	Повторить и обобщить знания о растворах, способах выражения их состава, молярной концентрации растворённого вещества	1	Уметь определять концентрацию окрашенных ионов фотоколориметрическим методом	Датчики оптической плотности 525 нм и 470 нм, спектрофотометр, весы лабораторные, бюретка, автоматическая микропипетка переменного объёма на 100 – 1000 мкл
21.	Кристаллогидраты	Лабораторный опыт «Определение теплого эффекта образования кристаллогидратов из безводных солей»	Знать свойства кристаллогидратов, особенности их образования	1	Научиться определять тепловой эффект реакции образования кристаллогидратов из безводных солей	Терморезисторный датчик температуры, магнитная мешалка, лабораторные весы
22.	Процесс электролитической диссоциации	Лабораторный опыт «Зависимость электропроводности раствора от растворителя»	Уметь объяснять физические основы процессов, протекающих при диссоциации электролитов	1	Определить изменение электропроводности при растворении газообразного хлороводорода в различных растворителях, интерпретировать полученные результаты	Датчик электропроводности
23.	Степень электролитической диссоциации. Сильные и слабые электролиты	Лабораторный опыт «Сильные и слабые электролиты»	Развить представления о степени электролитической диссоциации. Повторить и обобщить знания о сильных и слабых электролитах	1	На основании экспериментального измерения электропроводности растворов определить, являются ли выданные вещества сильными или слабыми электролитами	Датчик электропроводности





Продолжение

№ п/п	Тема	Содержание	Целевая установка урока	Кол-во часов	Планируемые результаты	Использование оборудования
24.	Ионное производство воды. Водородный показатель раствора pH	Лабораторный опыт «Зависимость концентрации ионов водорода от степени разбавления сильного и слабого электролита»	Знать понятие «ионное произведение воды». Уметь объяснить влияние различных факторов на водородный показатель раствора	1	Уметь сравнивать и объяснять зависимость pH раствора от концентрации слабой и сильной кислот	Датчик pH
25.	Кондуктометрическое и потенциометрическое титрование	Экспериментальное определение концентрации ионов меди в выданном растворе	Повторить и обобщить знания об электролитах, электролитической диссоциации, реакциях ионного обмена, водородном показателе	2	Уметь определять концентрацию слабых кислот в окрашенных растворах методами кондуктометрического и потенциометрического титрования	Датчик pH, датчик электропроводности, магнитная мешалка, бюретка, автоматическая микропипетка перемешивающего объема на 100—1000 мкл
26.	Кондуктометрический метод определения концентрации вещества	Лабораторный опыт «Прямое кондуктометрическое определение концентрации соли в растворе»	Повторить и обобщить знания о физико-химических основах процессов, протекающих при диссоциации электролитов	1	Применить метод прямой кондуктометрии для определения концентрации хлорида натрия в водном растворе	Датчик электропроводности
27.	Коллоидные растворы	Лабораторный опыт «Оптические свойства коллоидных растворов» <i>Теоретическое введение</i>	Знать понятие «коллоидные растворы». Знать свойства коллоидных растворов. Уметь сравнивать свойства коллоидных и истинных растворов, коллоидных растворов и грубодисперсных систем	1	Исследовать оптические свойства коллоидных растворов. Уметь объяснить наблюдаемое светорассеивание, эффект Фарадея—Тиндалля	Турбидиметр (датчик оптической мутности)



28.	Коагуляция. Коагулирующее действие электролитов	Лабораторный опыт «Коагулирующее действие различных ионов»	Знать понятие «коагуляция». Повторить и обобщить знания о дисперсных системах, коллоидных растворах, их агрегативной устойчивости	1	Изучить коагулирующее действие различных ионов на гидрозоль гидроксида железа (III)	Турбидиметр (датчик оптической мутности), электрическая плитка (из комлектной лабораторной бани), бюретки
29.	Окислительно-восстановительные реакции	Лабораторный опыт «Изменение pH в ходе окислительно-восстановительных реакций»	Повторить и обобщить знания об окислительно-восстановительных реакциях, важнейших окислителях и восстановителях. Уметь предсказывать состав продуктов окислительно-восстановительных реакций	1	На основании анализа изменения pH установить направление протекания изучаемых окислительно-восстановительных процессов	Датчик pH
30.	Химические источники тока. Аккумуляторы	Лабораторный опыт «Работа свинцового аккумулятора»	Знать принципы работы химических источников тока. Уметь объяснить процессы, протекающие при зарядке и разрядке аккумуляторов	1	Изучить процесс работы свинцового аккумулятора, понимать, какие реакции протекают при его зарядке и разрядке	Датчик напряжения, источник питания лабораторный
<b>4. Неорганическая химия</b>						
31.	Галогеноводороды. Соли галогеноводородных кислот	Лабораторный опыт «Сравнительное определение растворимости галогенидов серебра»	Повторить и обобщить знания о галогеноводородах, о солях галогеноводородных кислот	1	Провести кондуктометрические измерения и на основании полученных данных сравнить растворимость хлорида, бромиды и йодида серебра	Датчик электропроводности, магнитная мешалка
32.	Серная кислота и её соли	Лабораторный опыт «Взаимодействие гидроксида бария с серной кислотой»	Повторить и обобщить знания о свойствах серной кислоты, её солях	1	Исследовать особенности протекания реакции нейтрализации между растворами серной кислоты и растворами гидроксида бария	Датчик электропроводности, магнитная мешалка, бюретка



Продолжение

№ п/п	Тема	Содержание	Целевая установка урока	Кол-во часов	Планируемые результаты	Использование оборудования
33.	Железо, его свойства	Лабораторный опыт «Окисление железа во влажном воздухе»	Повторить и обобщить знания о свойствах железа	1	Исследовать процесс электрохимической коррозии железа на воздухе	Датчик давления, датчик кислорода
<b>5. Роль химии в жизни человека</b>						
34.	Химия в повседневной жизни. Моющие и чистящие средства	Лабораторный опыт «Исследование растворов хозяйственного и туалетного мыла, синтетических моющих средств»	Повторить и обобщить знания о свойствах поверхностно-активных веществ (ПАВ). Уметь объяснить моющее действие ПАВ	1	На основании анализа результатов измерения pH растворов различных моющих средств сделать вывод об их эксплуатационных свойствах	Датчик pH



## Содержание и форма организации учебных занятий по химии в 10—11 классах с использованием материально-технического оснащения «Школьного кванториума»

### Планы уроков

#### Тема урока:

#### «Зависимость скорости реакции от концентрации реагирующих веществ»

#### Важно!

Раздел химии, изучающий скорость химических реакций, её зависимость от различных факторов, механизмов, называется *химической кинетикой*.

*Скорость химической реакции* определяется изменением концентрации любого вещества — исходного или продукта — за единицу времени и в единице объёма или на единице площади поверхности.

Химическая кинетика тесно связана со смежными отраслями знаний, с такими как биология, медицина, геохимия, биохимия, фармакология, фармацевтика и многими другими. Установленные кинетические закономерности являются базовыми для организации как современного крупнотоннажного химического производства, так и для проведения процессов тонкого химического синтеза. Химическая кинетика — одна из эффективных инструментов управления каталитическими реакциями, в том числе ферментативными процессами, протекающими в живых клетках.

В качестве модельных реакций при изучении химической кинетики обычно в школе рассматривают взаимодействие тиосульфата натрия с кислотой или окисление сульфита натрия иодатом (реакция Ландольта или иодные часы).

Одной из задач, которую решает химическая кинетика, является определение состава реакционной смеси, установление концентраций всех реагентов и продуктов в любой момент времени. Для решения этой задачи необходимо знать зависимость скорости реакции от концентраций. На качественном уровне в общем случае можно утверждать, что чем больше концентрации реагирующих веществ, тем больше скорость химической реакции. Количественная зависимость известна как закон действующих масс, который был открыт в 1864—1867 годах норвежскими учёными К. Гульдбергом и П. Вааге. Согласно этому закону скорость химической реакции прямо пропорциональна произведению концентраций реагирующих веществ, взятых в некоторых степенях.

#### Важно!

Зависимость скорости реакции от концентраций реагирующих веществ определяется экспериментально и называется *кинетическим уравнением химической реакции*.

Для реакции



можно записать кинетическое уравнение:

$$v = k \cdot [A]^a \cdot [B]^b, \quad (2)$$

где  $k$  — коэффициент пропорциональности, константа скорости химической реакции,  $[A]$  и  $[B]$  — концентрации реагентов. Показатели степени —  $a$  и  $b$  — при кон-



центрации каждого из реагирующих веществ называются порядками реакции по данному компоненту, т. е. по веществам А и В. Такое название предложил немецкий химик В. Ф. Оствальд. Сумма показателей степени в кинетическом уравнении химической реакции ( $a + b$ ) представляет собой общий порядок реакции.

**Тип урока:** формирование новых знаний в процессе экспериментального исследования.

Класс: 11.

Цель урока: создать условия для формирования у обучающихся знаний о зависимости скорости реакции от концентрации реагирующих веществ, сформировать умения получать кинетические данные и интерпретировать их для определения порядков скорости реакции.

Продолжительность урока: один академический час.

### Планируемые результаты

Предметные:

- установить зависимость скорости реакции от концентрации реагирующих веществ;
- на основании обобщённых экспериментальных данных установить порядки скорости реакции по каждому из реагентов;
- вывести кинетическое уравнение для исследуемой реакции и предложить механизм её протекания.

Метапредметные:

Познавательные:

- формулировать рабочую гипотезу и цели исследования;
- планировать исследовательский эксперимент;
- интерпретировать полученные результаты;
- формулировать выводы.

Регулятивные:

- контролировать и оценивать результаты деятельности, вносить коррективы в их выполнение.

Коммуникативные:

- полно и точно выражать свои мысли, аргументировать собственную точку зрения, вступать в диалог;
- эффективно работать в паре и в группе при решении учебной задачи.

Личностные:

- развивать практические умения, связанные с получением кинетических данных, с математической обработкой данных количественного химического эксперимента;
- проявлять познавательную активность в процессе проведения химического эксперимента, нацеленного на установление зависимости скорости химической реакции от концентрации реагентов, и обработки кинетических данных.

**Оборудование, программное обеспечение и расходные материалы:** интерактивная доска либо компьютер и мультимедийный проектор, электронные таблицы, калькуляторы, программное обеспечение *Releon Lite*, 6 одинаковых стаканов, 3 мерных цилиндра, магнитная мешалка, секундомер, маркер (чёрный или тёмно-синий); 0,1 М раствор тиосульфата натрия; 0,5 М и 0,1 М растворы серной кислоты.



### Ход урока

#### Этап урока 1. Организационный

Предполагаемая продолжительность: 1—2 мин.

Педагогическая деятельность учителя:

проверяет готовность к уроку, организует работу класса на уроке, создаёт положительный эмоциональный настрой у обучающихся.

Учебная деятельность обучающихся:

эмоционально настраиваются на предстоящую учебную деятельность.

#### Этап урока 2. Актуализация знаний

Предполагаемая продолжительность: 10 мин.

Педагогическая деятельность учителя:

проводит фронтальную беседу; актуализирует имеющиеся знания в области химической кинетики; помогает выявить учебную проблему, основу для предстоящего экспериментального исследования; побуждает обучающихся к выдвижению гипотезы, формулировке целей, высказыванию предложений о способе и средствах их достижения.  
*Работа с терминами и понятиями.*

Повторить и обобщить знания учащихся о факторах, влияющих на скорость химических реакций, актуализировать и скорректировать следующие понятия: «скорость реакции», «концентрация реагентов», «кинетическое уравнение», «порядок скорости реакции по одному из реагентов», «суммарный порядок скорости реакции», «молекулярность реакции», «механизм реакции», «элементарные и сложные реакции».

*Описание проблемной ситуации.*

Для установления количественной зависимости скорости реакции от концентрации реагентов необходимо записать кинетическое уравнение. Для этого следует экспериментально определить величину константы скорости и показатели степени при концентрациях реагирующих веществ — порядки реакции. Важно отметить, что порядок реакции определяется только из экспериментальных данных и не связан со стехиометрическими коэффициентами при реагентах в химическом уравнении. Стехиометрическое уравнение реакции — это уравнение материального баланса, оно не связано с особенностями протекания этой реакции во времени.

Как экспериментально определить параметры кинетического уравнения химической реакции?

Учебная деятельность обучающихся:

отвечают на вопросы, высказывают свои предположения, предлагают и согласовывают с учителем тему и цель урока; предлагают способы и средства достижения цели.

*Предполагаемое объяснение проблемной ситуации.*

Для определения частных порядков реакции, протекающей с участием нескольких веществ, можно использовать метод изолирования Оствальда. Так, реакцию (1) сначала проводят с большим избытком вещества В (в 10—100 раз больше, чем концентрация А). Тогда уравнение (2) может быть записано:

$$v = k' \cdot [A]^a \quad (3)$$

При таких условиях определяют  $a$  одним из возможных методов, например дифференциальным методом Вант-Гоффа. Во втором опыте берут в большом избытке вещество А и определяют  $b$ .

*Способ решения проблемы.*

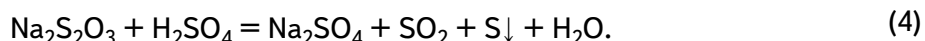
Для оценки частных порядков скорости реакции, протекающей с участием нескольких реагентов, например двух А и В, необходимо сначала провести серию опытов с большим избытком вещества В, изменяя концентрацию вещества А. Затем серию опытов с большим избытком вещества А, изменяя концентрацию вещества В.

**Этап урока 3. Применение знаний в новой ситуации**

Предполагаемая продолжительность: 17 мин.

Педагогическая деятельность учителя:

предлагает обучающимся рассмотреть в качестве модельной реакции взаимодействие между растворами тиосульфата натрия и серной кислоты. Суммарно этот процесс можно выразить уравнением:



О прохождении реакции можно судить по изменению прозрачности раствора. Помутнение раствора обусловлено образованием частичек свободной серы. Для того чтобы отмечать время образования в разных опытах одной и той же степени помутнения, можно воспользоваться следующим приёмом. На наружную стенку стаканчика нанесите чёрным (или тёмно-синим) маркером вертикальную полоску. При проведении опытов вы смотрите на полоску через раствор реагентов и отмечаете время, когда сквозь мутный раствор разглядеть полоску оказывается уже невозможно. Для устранения диффузионных эффектов исходные реагенты необходимо интенсивно перемешивать, для этого удобно использовать магнитную мешалку, якорь которой вращается непосредственно в стакане с реакционной смесью.

Следует заметить, что в данном исследовании измеряется не скорость, а промежуток времени между началом реакции и её видимым результатом. Однако этот промежуток времени  $\tau$  обратно пропорционален скорости реакции  $v$ , поэтому величину  $1/\tau$  можно назвать условной скоростью реакции  $v_{\text{усл}}$ .

Учитель корректирует выполнение экспериментального исследования рабочими группами. Предупреждает, что при выполнении работы следует соблюдать осторожность при обращении с серной кислотой. В ходе реакции выделяется сернистый газ, поэтому отработанные растворы необходимо сливать в большую банку и ставить под тягу.

Учебная деятельность обучающихся:

формируют рабочие группы по 2 человека, получают задание и оборудование. Выполняют экспериментальное исследование в парах, используя инструкцию (см. материалы для копирования), оформляют результаты измерений и расчёты в тетради или на специальных бланках. Обобщают результаты всех рабочих групп, затем с помощью электронных таблиц на интерактивной доске представляют в виде графиков зависимости скорости реакции от концентрации тиосульфата натрия и от концентрации серой кислоты.

**Этап урока 4. Обобщение и интерпретация полученных результатов, контроль усвоения, обсуждение допущенных ошибок и их коррекция**

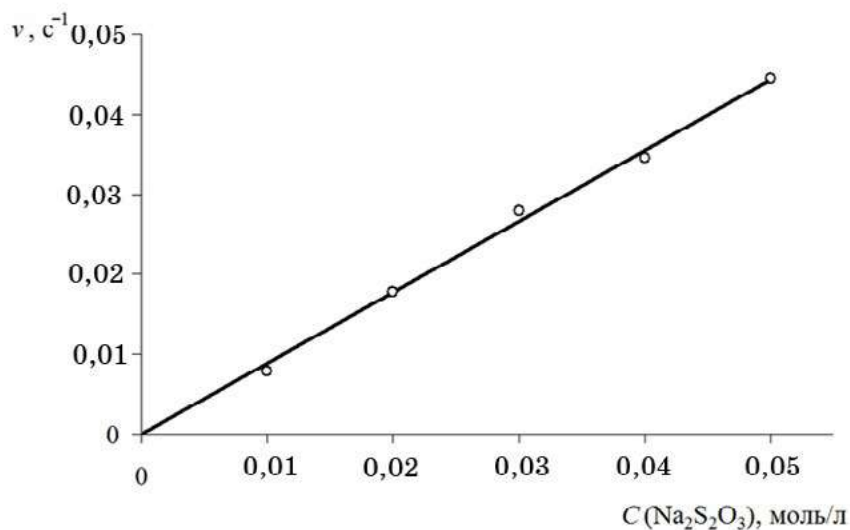
Предполагаемая продолжительность: 10 мин.

Педагогическая деятельность учителя:

организует обсуждение результатов исследования, подводит обучающихся к выводу о зависимости скорости реакции от концентрации реагирующих веществ. Помогает выяснить причины допущенных инструментальных или статистических ошибок, определить пути их исправления. Предлагает обучающимся высказать предположение о возможном механизме исследуемой реакции на основании полученных данных. В заключение задаёт контрольные вопросы (см. материалы для копирования).

Учебная деятельность обучающихся:

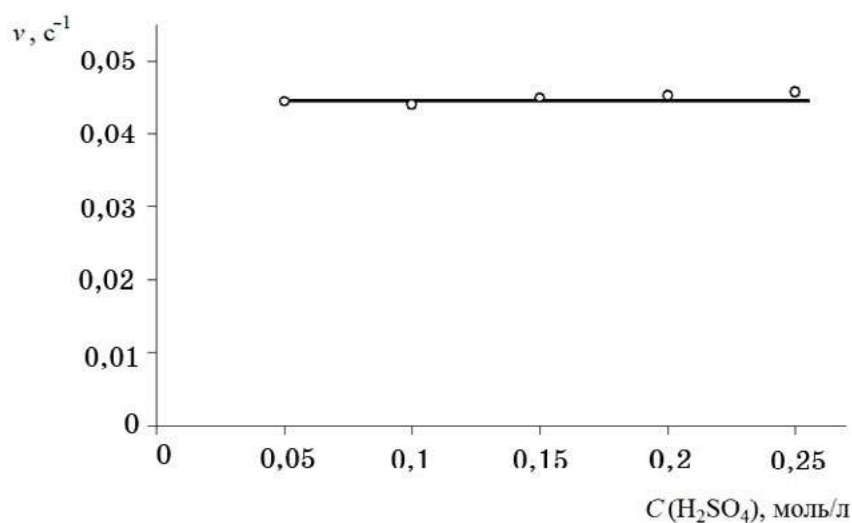
на основе полученных экспериментальных данных строят график зависимости скорости реакции от концентрации (примерный вид графика представлен на рис. 1).



**Рис. 1.** Зависимость скорости реакции от концентрации тиосульфата натрия (22 °С)

При обсуждении полученного графика отмечают, что скорость изучаемой реакции линейно зависит от концентрации тиосульфата натрия, причём прямая выходит из начала координат, с ростом концентрации увеличивается скорость. На основании анализа установленной зависимости делают вывод, что реакция между растворами тиосульфата натрия и серной кислоты имеет первый порядок по тиосульфату натрия (по тиосульфат-иону  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ). Полученный вывод формально не противоречит суммарному уравнению (4).

Аналогично строят график зависимости скорости реакции от концентрации серной кислоты (рис. 2).



**Рис. 2.** Зависимость скорости реакции от концентрации серной кислоты (22 °С)

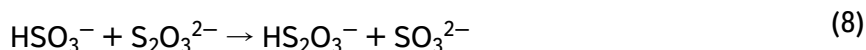




Продолжение

Из полученного графика видно, что концентрация кислоты практически не влияет на скорость изучаемой реакции. Обучающиеся делают вывод, что реакция между растворами тиосульфата натрия и серной кислоты имеет нулевой порядок по катионам водорода.

Таким образом, в ходе проведённого исследования школьники устанавливают факт, что изучаемая реакция сложная, протекает в несколько стадий, причём лимитирующая стадия не сводится к уравнению (4). В данном случае протекает сложная реакция, включающая несколько стадий. Её продукт (сера) выделяется не сразу при непосредственных столкновениях тиосульфат-ионов и катионов  $H^+$ . Процесс включает следующие стадии:



Из представленной схемы видно, что роль серной кислоты сводится только к образованию на второй стадии ионов  $HS_2O_3^-$ . А две последние повторяющиеся друг за другом реакции и дают продукты — серу и сернистую кислоту, но уже без участия кислоты. Лимитирующей стадией является последняя (8). Изучаемая реакция имеет первый порядок по тиосульфат-иону и нулевой порядок по катионам водорода, т. е. её скорость  $v$  прямо пропорциональна концентрации  $Na_2S_2O_3$ :

$$v = k \cdot [Na_2S_2O_3] \quad (9)$$

и не зависит от концентрации серной кислоты.

### Этап урока 5. Информация о домашнем задании и рефлексия

Предполагаемая продолжительность: 6—7 мин.

Педагогическая деятельность учителя:

информирует о домашнем задании, даёт комментарий по его выполнению; предлагает анкету рефлексии к уроку и даёт рассчитать «Индивидуальный индекс качества урока»; подводит рефлексивную статистику урока по количеству учеников, у которых индекс качества выше значения 5; демонстрирует запись проблемы и цели урока, спрашивает: «Как вы думаете, решена ли проблема, достигнута ли цель?». Если проблема не решена и цель не достигнута, предлагает объяснение и задаёт в дополнение к домашнему заданию подумать над причинами этого.

Учебная деятельность обучающихся:

задают уточняющие вопросы о выполнении домашнего задания; рассчитывают индивидуальный индекс качества урока; определяют степень соответствия поставленной цели и результатов деятельности; степень своего продвижения к цели; высказывают оценочные суждения и соотносят результаты своей деятельности с целью урока.



### Материалы для подготовки к уроку

#### Инструкция к экспериментальному исследованию

#### «Зависимость скорости реакции от концентрации реагирующих веществ»

#### 1) Изучение зависимости скорости реакции от концентрации тиосульфата натрия

Приготовьте серию растворов с определённой концентрацией тиосульфата натрия. Для этого с помощью мерных цилиндров отмерьте дистиллированную воду и исходный 0,1 М раствор  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ . Объёмы смешиваемых жидкостей приведены в таблице 1.

Таблица 1

#### Приготовление рабочих растворов тиосульфата натрия

№ стакана	1	2	3	4	5
Объём 0,1М раствора $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , мл	10	20	30	40	50
Объём воды, мл	40	30	20	10	0

В химический стакан поместите якорь магнитной мешалки и налейте 50 мл 0,1 М раствора серной кислоты, включите двигатель мешалки, её якорь не должен касаться стенок стакана. Затем быстро и аккуратно перелейте полностью порцию подготовленного раствора тиосульфата натрия и засекайте время начала опыта. Смотрите на полоску на стенке стакана через раствор реагентов и отметьте время, когда сквозь мутный раствор разглядеть полоску оказывается уже невозможно, запишите полученный результат в таблицу 2.

Таблица 2

#### Результаты исследования зависимости скорости реакции от концентрации тиосульфата натрия

№ опыта	1	2	3	4	5
Объём 0,1 М раствора $\text{H}_2\text{SO}_4$ , мл	50	50	50	50	50
Объём 0,1 М раствора $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , мл	10	20	30	40	50
$n(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$ , моль					
$[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]^*$ , моль/л					
Время протекания реакции $\tau$ , с					
$v_{\text{усл}}$ , $\text{с}^{-1}$					

\* Общий объём реакционной смеси можно принять равным 100 мл: 50 мл раствора серной кислоты и 50 мл рабочего раствора тиосульфата натрия. В данном случае объёмы растворов можно складывать, так как их плотности близки 1 г/мл.

Для расчёта молярной концентрации  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  нужно количество этого вещества  $n(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$  разделить на общий объём реакционной смеси.

Например, для приготовления 1-го раствора взяли 10 мл 0,1М раствора тиосульфата натрия, поэтому

$$n(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 0,010 \text{ л} \cdot 0,1 \text{ моль/л} = 0,001 \text{ моль.}$$

Тогда:

$$[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3] = \frac{0,001 \text{ моль}}{0,100 \text{ л}} = 0,01 \text{ моль/л.}$$



## 2) Изучение зависимости скорости реакции от концентрации серной кислоты

Аналогично устанавливается зависимость скорости реакции от концентрации серной кислоты. При этом  $C(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$  не изменяется, причём берётся избыток (или эквивалентное количество) кислоты по сравнению со стехиометрическим количеством соли.

С помощью мерных цилиндров отмерьте дистиллированную воду и исходный 0,5М раствор  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Объёмы смешиваемых жидкостей приведены в таблице 3.

Таблица 3

### Приготовление рабочих растворов серной кислоты

№ стакана	1	2	3	4	5
Объём 0,5М раствора $\text{H}_2\text{SO}_4$ , мл	10	20	30	40	50
Объём воды, мл	40	30	20	10	0

Затем действуйте по уже знакомому алгоритму. В стакан с якорем магнитной мешалки налейте 50 мл приготовленного раствора серной кислоты, включите мешалку. Затем в стакан быстро и аккуратно прилейте 50 мл 0,1 М раствора тиосульфата натрия и засекайте время начала опыта. Когда сквозь мутный раствор нельзя будет разглядеть полосу на стенке стакана, остановите отсчёт времени. Результаты измерений занесите в таблицу 4.

Таблица 4

### Результаты исследования зависимости скорости реакции от концентрации серной кислоты

№ опыта	1	2	3	4	5
Объём 0,1М раствора $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , мл	50	50	50	50	50
Объём 0,5М раствора $\text{H}_2\text{SO}_4$ , мл	10	20	30	40	50
$n(\text{H}_2\text{SO}_4)$ , моль					
$C(\text{H}_2\text{SO}_4)^*$ , моль/л					
Время протекания реакции $\tau$ , с					
$v_{\text{усл}}$ , $\text{с}^{-1}$					

\* Расчёт молярной концентрации  $\text{H}_2\text{SO}_4$  проводят аналогично предыдущему опыту,  $n(\text{H}_2\text{SO}_4)$  делят на общий объём реакционной смеси (пренебрегая принципом неаддитивности объёмов растворов).

#### Контрольные вопросы

1. Что такое скорость реакции? Как её измеряют? В каких единицах выражают?
2. Сформулируйте закон действия масс, объясните его физический смысл.
3. Что называется порядком скорости реакции? Как его рассчитывают? От чего он зависит?
4. Что такое константа скорости реакции? От каких факторов она зависит?
5. Какие реакции протекают при взаимодействии тиосульфата натрия с серной кислотой? Какая из них является лимитирующей стадией?

#### Литература

1. Дорофеев М. В., Беспалов П. И. Изучение скорости химической реакции с использованием цифровой лаборатории // Химия в школе. 2011. № 8. С. 43—50.
2. Зайцев О. С. Неорганическая химия: Учеб. для 10 (11) кл. общеобразоват. учреждений с углубл. изуч. предмета и с изуч. предмета на профильном уровне. М.: АСТ-Пресс Школа, 2006. С. 192—248.



3. Леенсон И. А. Рассказы о химической кинетике. Рассказ пятый. Уравнение скорости // Химия и жизнь. 1972. № 6. С. 50—51.

4. Медведев Ю. Н. Скорость и механизмы химических реакций // Химия в школе. 2010. № 6. С. 57—63; 2010. № 7. С. 44—50.

5. Полторак О. М. Современные теории химии и изучение химии в школе // Соросовский Образовательный Журнал. 1995. №1. С. 50—56.

## ПОМОЩЬ УЧИТЕЛЮ

Анкета для расчёта индивидуального индекса качества урока

Выберите подходящие вам утверждения и подсчитайте сумму баллов			
№	Утверждение	0 баллов	1 балл
1	На уроке я работал	не активно	активно
2	Своей работой на уроке я	не доволен	доволен
3	За урок я	устал	не устал
4	Моё настроение	стало хуже	стало лучше
5	Материал урока мне был	не понятен	понятен
6		бесполезен	полезен
7		скучен	интересен
8		труден	не труден
9	Связь урока с другими науками	не заметна	заметна

## ПОМОЩЬ УЧИТЕЛЮ

### Методические комментарии

На 4-м этапе урока каждой рабочей группе можно поручить выполнение только одного-двух измерений. Например, одна группа определяет скорость реакции при  $[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3] = 0,01$  моль/л (избыток серной кислоты), а затем при  $[\text{H}_2\text{SO}_4] = 0,01$  моль/л (избыток тиосульфата натрия). На 5-м этапе урока обобщаются результаты всех групп. Такой подход позволяет сэкономить учебное время урока и воспитать ответственное отношение обучающихся к выполнению поставленной учебной задачи, уважение к своим одноклассникам, занятым в общем исследовании.

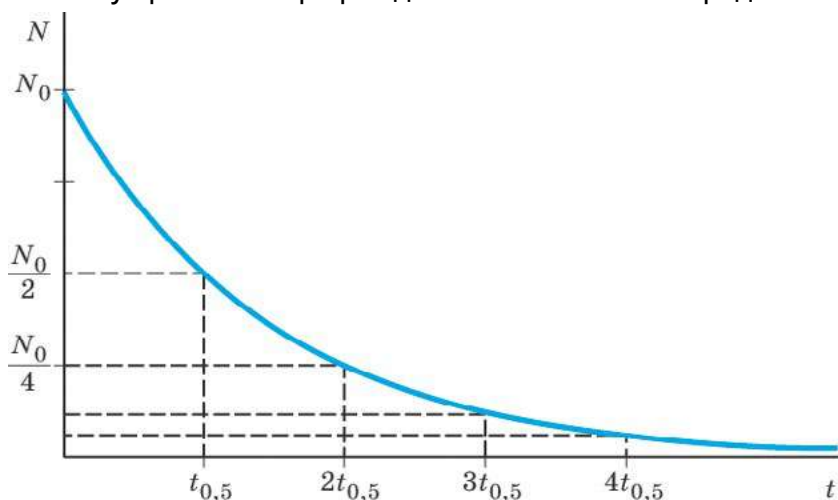
### Задания к уроку

#### 1. Задание на развитие функциональной грамотности

Химическая кинетика позволяет рассматривать закономерности протекания и нехимических процессов, например скорости распада радиоактивных ядер. Радиоактивный распад — это реакция 1-го порядка, т. е. скорость всех реакций радиоактивного распада прямо пропорциональна количеству распадающегося вещества. Важной кинетической характеристикой таких реакций является период полураспада  $t_{0,5}$  — это время, в течение которого распадается половина имеющихся радиоактивных ядер:

$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{t_{0,5}}} \quad (10)$$

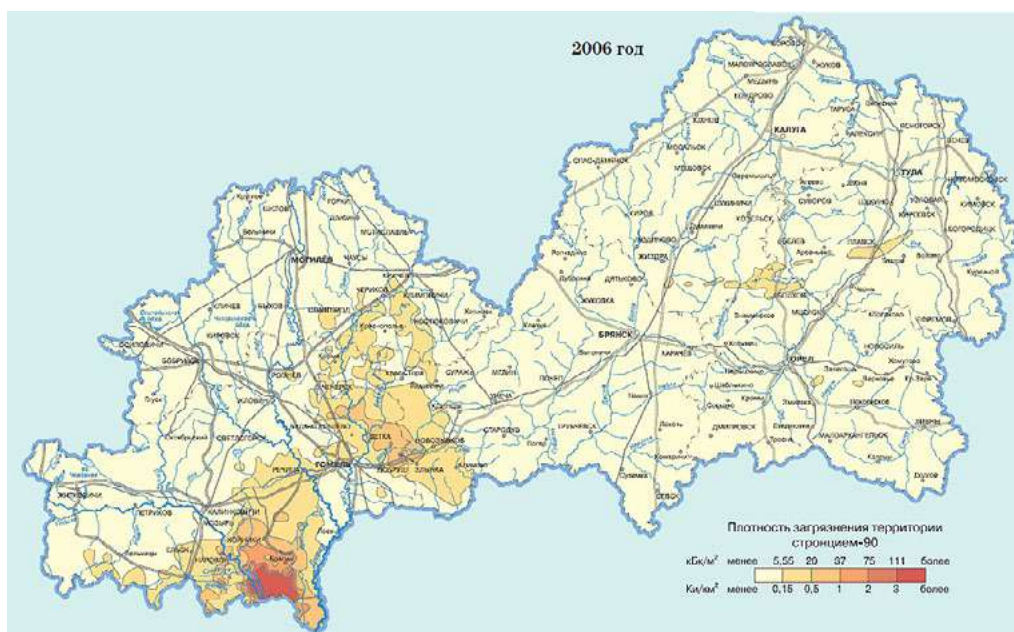
где  $N_0$  — число радиоактивных ядер в начальный момент времени,  $N$  — число радиоактивных ядер к моменту времени  $t$ . График данной зависимости представлен на рисунке 3.



**Рис. 3.** График зависимости числа радиоактивных ядер от времени

Выброс стронция-90 в окружающую среду происходит в основном в результате ядерных испытаний и аварий на предприятиях атомной энергетики. Стронций является аналогом кальция и способен прочно откладываться в костях. Длительное радиационное воздействие  $^{90}\text{Sr}$  и продуктов его распада поражает костную ткань и костный мозг. Стронций-90 претерпевает два последовательных бета-распада. Период первого полураспада около 29 лет.

В 1986 году во время аварии на Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС) из разрушенного реактора было выброшено большое количество радионуклидов, в том числе стронций-90 (рис. 4). Во сколько раз снизилась активность этого нуклида к 2021 году? В каком году его активность снизится в 8 раз? Приведите необходимый расчёт.



**Рис. 4.** Плотность радиоактивного загрязнения территории России и Беларуси стронцием-90 после аварии на ЧАЭС. Данные на 2006 г. (Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси (АСПА Россия—Беларусь). Москва—Минск, 2009. С. 82.



Решение:

Преобразуем уравнение (10) так, чтобы получить отношение  $\frac{N_0}{N}$ , которое будет показывать снижение активности  $^{90}\text{Sr}$ :

$$\frac{N_0}{N} = 2^{\frac{t}{t_{0,5}}} \quad (11)$$

После аварии на ЧАЭС к 2021 году прошло 35 лет, период полураспада нуклида  $^{90}\text{Sr}$  равен 29 годам.

Рассчитаем снижение активности:

$$\frac{N_0}{N} = 2^{\frac{35}{29}} \approx 2,3 \text{ раза.}$$

Для того чтобы активность снизилась в 8 раз, должно пройти 3 периода полураспада ( $8 = 2^3$ ), т. е.  $29 \cdot 3 = 87$  лет.  $1986 + 87 = 2073$  год.

## 2. Задание для подготовки к ГИА, ВПР

1. Из предложенного перечня внешних воздействий выберите те, которые приводят к увеличению скорости реакции ацетилена с водородом.

- 1) понижение температуры
- 2) увеличение концентрации этана
- 3) использование катализатора
- 4) увеличение концентрации водорода
- 5) повышение давления в системе

Ответ: 3, 4, 5.

2. Воздействия, которые приводят к уменьшению скорости реакции окисления сернистого газа до оксида серы (VI).

- 1) понижение температуры
- 2) увеличение концентрации  $\text{SO}_2$
- 3) использование катализатора
- 4) уменьшение концентрации кислорода
- 5) уменьшение давления в системе

Ответ: 1, 4, 5.

3. Из предложенного перечня внешних воздействий выберите те, которые приводят к увеличению скорости реакции алюминия с соляной кислотой:

- 1) увеличение температуры
- 2) увеличение концентрации кислоты
- 3) измельчение алюминия
- 4) увеличение концентрации водорода
- 5) увеличение давления в системе

Ответ: 1, 2, 3.

4. Из предложенного перечня выберите факторы, которые приводят к увеличению скорости химической реакции между раствором сульфата меди (II) и цинком.

- 1) повышение давления в системе
- 2) измельчение цинка



- 3) нагревание раствора
- 4) добавление воды
- 5) увеличение концентрации сульфата меди (II)

Ответ: 2, 3, 5.

5. Из предложенного перечня выберите схемы реакций, для которых увеличение давления приведёт к увеличению скорости взаимодействия. Расставьте коэффициенты в уравнениях реакций.

- 1)  $\text{CaCO}_3 + \text{HCl}(\text{p-p}) \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- 2)  $\text{CH}_3\text{—CH=CH}_2 + \text{H}_2 \xrightarrow{\text{Pt}} \text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_3$
- 3)  $\text{Fe} + \text{I}_2(\text{кр}) \rightarrow \text{FeI}_2$
- 4)  $\text{Fe} + \text{HBr}(\text{r}) \rightarrow \text{FeBr}_2 + \text{H}_2$
- 5)  $\text{Fe} + \text{H}_2\text{O}(\text{r}) \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{H}_2$

Ответ: 2, 4, 5.

*Темы возможных проектных и исследовательских работ*

1. Выявление фальсификатов мёда с помощью методов химической кинетики.
2. Влияние различных факторов на активность уреазы.
3. Влияние условий хранения продуктов питания на активность каталазы.
4. Изменение содержания «активного хлора» в средствах бытовой химии в зависимости от условий их хранения и применения;
5. Математическое моделирование протекания химических реакций.

### Тема урока:

#### «Зависимость скорости реакции от температуры»

Одним из факторов, влияющих на скорость реакции является температура. Экспериментальное исследование этого влияния в условиях школьной лаборатории представляет безусловный интерес для старшеклассников. Позволяет им применить знания, полученные на уроках физики и математики, для объяснения реально наблюдаемых химических процессов.

#### Важно!

Скорость химического процесса обычно возрастает при увеличении температуры. Согласно эмпирическому правилу голландского химика Я. Х. Вант-Гоффа (1884 г.): «при повышении температуры на каждые 10 °С скорость реакции увеличивается в 2—4 раза». Эта зависимость может быть выражена математическим уравнением:

$$\frac{v_2}{v_1} = \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}}, \quad (12)$$

где  $v_2$  и  $v_1$  — скорости реакции при температурах  $T_2$  и  $T_1$  соответственно,  $\gamma$  — температурный коэффициент, или коэффициент Вант-Гоффа. Для большинства реакций, протекающих при комнатной температуре, он имеет значение в пределах от 2 до 4.

Объяснение зависимости скорости реакции от температуры было дано шведским химиком С. Аррениусом в 1889 году. Он предположил, что к реакции приводит не каждое столкновение молекул реагентов, а только те, в результате которых выделя-



ется энергия, достаточная для разрыва химических связей. Лишь те молекулы, которые обладают избытком кинетической энергии, способны к результативному взаимодействию. Для каждой реакции существует определённый энергетический барьер. Преодолеть его и прореагировать могут только те частицы, которые обладают достаточным запасом энергии. Такие молекулы называют активными, а энергию, необходимую для перехода вещества в состояние активированного комплекса, — энергией активации,  $E_a$  (кДж/моль). Взаимосвязь константы скорости реакции ( $k$ ) и энергии активации ( $E_a$ ) выражается уравнением Аррениуса:

$$k = A \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}}, \quad (13)$$

где  $A$  — предэкспоненциальный множитель, учитывающий число столкновений молекул и благоприятную ориентацию молекул относительно друг друга,  $e$  — основание натуральных логарифмов ( $e = 2,718\dots$ ),  $R$  — универсальная газовая постоянная (8,314 Дж/(моль · К)),  $T$  — абсолютная температура, К.

В качестве модельных реакций, как в примере урока, рассмотренном выше, используют взаимодействие тиосульфата натрия с кислотой (4) или окисление сульфита натрия иодатом.

**Тип урока:** формирование новых знаний в процессе экспериментального исследования.  
Класс: 11.

Цель урока: создать условия для формирования у обучающихся знаний о зависимости скорости реакции от температуры, развить умения получать кинетические данные и интерпретировать их для определения температурного коэффициента скорости реакции (коэффициента Вант-Гоффа) и энергии активации.

Продолжительность урока: один академический час.

### Планируемые результаты

Предметные:

- установить зависимость скорости реакции от температуры;
- на основании обобщённых экспериментальных данных установить значение температурного коэффициента скорости реакции (коэффициента Вант-Гоффа) и энергии активации.

Метапредметные:

Познавательные:

- формулировать рабочую гипотезу и цели исследования;
- планировать исследовательский эксперимент;
- интерпретировать полученные результаты;
- формулировать выводы.

Регулятивные

- контролировать и оценивать результаты деятельности, вносить коррективы в их выполнение.

Коммуникативные:

- полно и точно выражать свои мысли, аргументировать собственную точку зрения, вступать в диалог;
- эффективно работать в паре и в группе при решении учебной задачи.

Личностные:

- развивать практические умения, связанные с получением кинетических данных, с математической обработкой данных количественного химического эксперимента;





- проявлять познавательную активность в процессе проведения химического эксперимента, нацеленного на установление зависимости скорости химической реакции от концентрации реагентов, и обработки кинетических данных.

**Оборудование, программное обеспечение и расходные материалы:** интерактивная доска либо компьютер и мультимедийный проектор, электронные таблицы, калькуляторы, программное обеспечение *Releon Lite*, температурный датчик, 6 одинаковых стаканов, 3 мерных цилиндра, магнитная мешалка, секундомер, маркер (чёрный или тёмно-синий); баня комбинированная лабораторная и кристаллизатор со льдом; 0,05 М раствор тиосульфата натрия; 0,1 М раствор серной кислоты.

### Ход урока

#### Этап урока 1. Организационный

Предполагаемая продолжительность: 1—2 мин.

Педагогическая деятельность учителя:

проверяет готовность к уроку, организует работу класса на уроке, создаёт положительный эмоциональный настрой у обучающихся.

Учебная деятельность обучающихся:

эмоционально настраиваются на предстоящую учебную деятельность.

#### Этап урока 2. Актуализация знаний

Предполагаемая продолжительность: 10 мин.

Педагогическая деятельность учителя:

проводит фронтальную беседу; актуализирует имеющиеся знания в области химической кинетики; помогает выявить учебную проблему, основу для предстоящего экспериментального исследования; побуждает обучающихся к выдвижению гипотезы, формулировке целей, высказыванию предложений о способе и средствах их достижения.

*Работа с терминами и понятиями.*

Повторить и обобщить знания учащихся о факторах, влияющих на скорость химических реакций, актуализировать и скорректировать следующие понятия: «скорость реакции», «концентрация реагентов», «кинетическое уравнение», «температурный коэффициент скорости реакции, коэффициент Вант-Гоффа», «энергетический барьер реакции», «энергия активации», «активированный комплекс», «активные молекулы».

*Описание проблемной ситуации.*

С чем связана основная причина увеличения скорости реакции при повышении температуры? Очевидно, она не обусловлена возрастанием числа соударений реагирующих частиц. Расчёты показали, что при увеличении температуры на 10 °С число столкновений возрастает всего на 1—2%. Почему же нагревание оказывает столь значительное влияние на скорость реакции?

Учебная деятельность обучающихся:

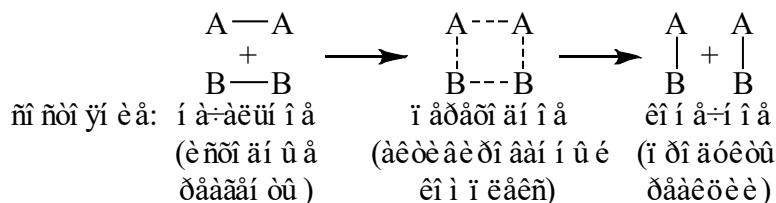
отвечают на вопросы, высказывают свои предположения, предлагают и согласовывают с учителем тему и цель урока; предлагают способы и средства достижения цели.

*Предполагаемое объяснение проблемной ситуации.*

Любую реакцию системы, например  $A_2 + B_2 = 2AB$ , где все вещества газообразны, можно охарактеризовать тремя последовательными состояниями:



Продолжение



Переходное состояние системы отвечает образованию активированного комплекса, в котором за счёт перераспределения электронной плотности между атомами происходит ослабление связей А – А и В – В и возникновение связей А – В. Образование активированного комплекса требует затраты энергии. Необходима она и для преодоления сил отталкивания между сближающимися частицами.

При нагревании веществам сообщается дополнительная энергия, вследствие чего увеличивается доля активных молекул и число результативных столкновений между ними, т. е. резко возрастает скорость реакции.

Следует отметить, что для протекания реакции необходим не только определённый запас энергии частиц, равный или больший, чем энергия активации, но и благоприятная взаимная ориентация молекул, при которой могут возникнуть новые химические связи. Это обстоятельство приводит к тому, что число результативных столкновений с образованием активированного комплекса реально меньше, чем число активных молекул.

**Этап урока 3. Применение знаний в новой ситуации**

Предполагаемая продолжительность: 17 мин.

Педагогическая деятельность учителя:

предлагает обучающимся рассмотреть в качестве модельной реакции взаимодействие между растворами тиосульфата натрия и серной кислоты (4), о протекании которой можно судить по изменению прозрачности раствора. В данном исследовании измеряется не скорость, а промежуток времени между началом реакции и её видимым результатом. Однако этот промежуток времени τ обратно пропорционален скорости реакции ν, поэтому величину 1/τ можно назвать условной скоростью реакции ν<sub>усл</sub>.

Учитель корректирует выполнение экспериментального исследования рабочими группами. Предупреждает, что при выполнении работы следует соблюдать осторожность при обращении с серной кислотой. В ходе реакции выделяется сернистый газ, поэтому отработанные растворы необходимо сливать в большую банку и ставить под тягу.

Учебная деятельность обучающихся:

формируют рабочие группы по 2 человека, получают задание и оборудование. Выполняют экспериментальное исследование в парах, используя инструкцию (см. материалы для копирования), оформляют результаты измерений и расчёты в тетради или на специальных бланках. Обобщают результаты всех рабочих групп, затем с помощью электронных таблиц на интерактивной доске, представляют в виде графиков зависимости скорости реакции от температуры.

**Этап урока 4. Обобщение и интерпретация полученных результатов, контроль усвоения, обсуждение допущенных ошибок и их коррекция**

Предполагаемая продолжительность: 10 мин.

Педагогическая деятельность учителя:

организует обсуждение результатов исследования, подводит обучающихся к выводу о зависимости скорости реакции от температуры. Помогает выяснить причины допу-



Продолжение

ценных инструментальных или статистических ошибок, определить пути их исправления. В заключение задаёт контрольные вопросы (см. материалы для копирования).

Учебная деятельность обучающихся:

обобщают полученные результаты эксперимента, рассчитывают температурный коэффициент скорости реакции  $\gamma$ . Для этого используют преобразованное уравнение (12):

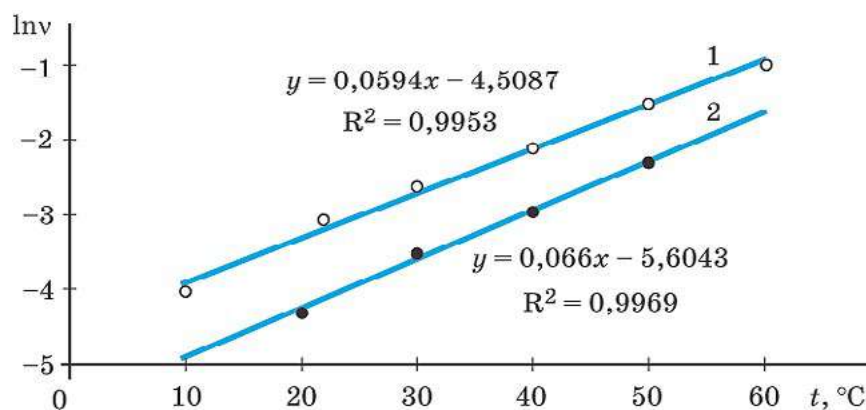
$$\gamma = \left( \frac{v_2}{v_1} \right)^{\frac{10}{T_2 - T_1}} \quad (14)$$

Безусловный интерес у школьников вызывает графический метод определения  $\gamma$ , графическое сопоставление своих данных с данными из литературных источников. С этой целью логарифмируют<sup>1</sup> уравнение (12) и получают

$$\ln v = \frac{\ln \gamma}{10} T + \text{const.} \quad (15)$$

Из полученного уравнения (15) видно, что в координатах  $\ln v - T$  график будет иметь линейный вид (рис. 5), причём температуру можно выражать как в градусах Цельсия, так и в Кельвинах. Тангенс угла наклона (угловой коэффициент) полученной прямой равен  $\frac{\ln \gamma}{10}$ . Определив его значение, можно рассчитать  $\gamma$ .

Данный пример можно использовать для формирования понятия сходимости экспериментальных и теоретических данных (точки ложатся на прямую, а температурный коэффициент близок интервалу, установленному Я. Х. Вант-Гоффом).



**Рис. 5.** Зависимость логарифма скорости реакции от температуры: 1 — результаты лабораторного опыта; 2 — данные Г. Б. Шульпина (1975)

Графики удобно строить с использованием редактора электронных таблиц, например *MS Excel*, данная программа позволяет аппроксимировать данные и показывать уравнение линии тренда. Из графиков, представленных на рисунке 5, видно, что выявлен-

<sup>1</sup> Логарифмировать можно по любому основанию, в данном случае приведён результат архивирования по основанию натурального логарифма.



Продолжение

ная зависимость имеет линейный вид. Величина достоверности линейной аппроксимации ( $R^2$ ), близкая к единице, свидетельствует о небольших отклонениях каждой точки от прямой. Графики не совпадают, так как Г. Б. Шульпин использовал более разбавленные растворы (к сожалению, в статье не указаны точные концентрации тиосульфата натрия и уксусной кислоты).

На основании данных, полученных учащимися в ходе лабораторного опыта, легко рассчитать коэффициент Вант-Гоффа  $\gamma$ :

$$\gamma = e^{10 \cdot 0,0594} \approx 1,8. \quad (16)$$

Используя данные Г. Б. Шульпина, получаем близкое значение  $\gamma$ :

$$\gamma = e^{10 \cdot 0,066} \approx 1,9. \quad (17)$$

Установленные значения  $\gamma$  близки к нижней границе интервала, соответствующего правилу Вант-Гоффа.

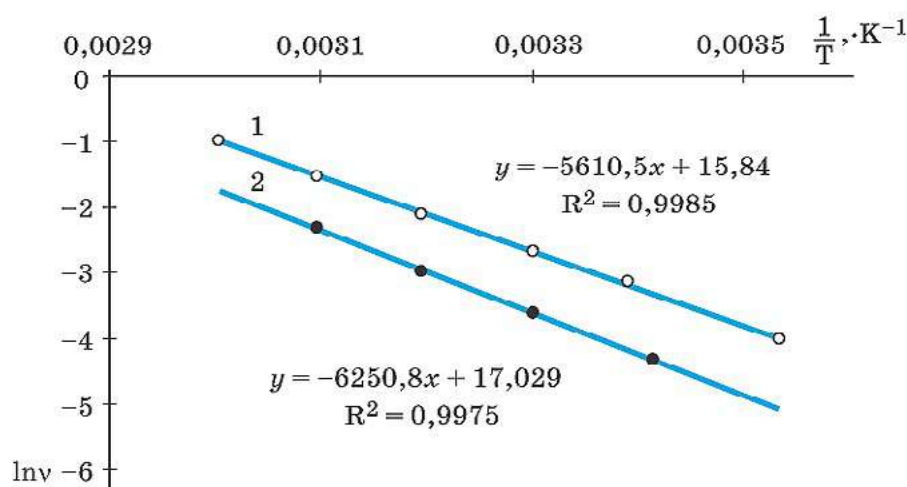
Для определения величины энергии активации  $E_a$  уравнение (13) записывают в логарифмической форме:

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{T}, \quad (18)$$

где  $E_a$  — энергия активации,  $R$  — универсальная газовая постоянная,  $T$  — температура,  $A$  — предэкспоненциальный множитель, характеризующий частоту столкновений реагирующих частиц. Затем пересчитывают данные эксперимента и заполняют таблицу 2 (см. материалы к уроку для копирования), на основании которой строят график в координатах

$$\ln k - \frac{1}{T}$$

(рис. 6). Тангенс угла наклона полученной прямой равен  $-\frac{E_a}{R}$ .



**Рис. 6.** Зависимость скорости реакции от температуры в аррениусовских координатах: 1 — результаты лабораторного опыта; 2 — данные Г. Б. Шульпина



Продолжение

Расчёт энергии активации на основании данных, представленных на рисунке 6:

$$E_a = 5611 \cdot 8,314 \approx 46,6 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}; \quad (19)$$

по Г. Б. Шульпину  $E_a = 6251 \cdot 8,314 \approx 52,0 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$ .

Из расчётов (19) видно, что полученные значения  $E_a$  близки.

### Этап урока 5. Информация о домашнем задании и рефлексия

Предполагаемая продолжительность: 6—7 мин.

Педагогическая деятельность учителя:

информирует о домашнем задании, даёт комментарий по его выполнению; предлагает анкету рефлексии к уроку и предлагает рассчитать «Индивидуальный индекс качества урока»; подводит рефлексивную статистику урока по количеству учеников, у которых индекс качества выше значения 5; демонстрирует запись проблемы и цели урока, спрашивает: «Как вы думаете, решена ли проблема, достигнута ли цель?» Если проблема не решена и цель не достигнута, предлагает объяснение и предлагает в дополнение к домашнему заданию подумать над причинами этого.

Учебная деятельность обучающихся:

задают уточняющие вопросы о выполнении домашнего задания; рассчитывают индивидуальный индекс качества урока; определяют степень соответствия поставленной цели и результатов деятельности; степень своего продвижения к цели; высказывают оценочные суждения и соотносят результаты своей деятельности с целью урока.

### Материалы для подготовки к уроку

Инструкция к экспериментальному исследованию

«Зависимость скорости реакции от температуры»

Налейте в одни химические стаканы по 50 мл 0,05 М раствора тиосульфата натрия, а в другие — 0,1 М раствора серной кислоты. Поместите стаканы попарно в кристаллизатор со льдом, в бани с тёплой (40—50 °С) и горячей водой (60—70 °С) соответственно. Ещё одну пару стаканов оставьте при комнатной температуре. Во все стаканы с растворами опустите датчики (или термометры) и начинают регистрацию температуры. Стаканы с растворами необходимо термостатировать не менее 5—7 мин. Затем действуйте по уже отработанному алгоритму (см. инструкцию к предыдущему уроку). Полученные результаты занесите в таблицу 1.

Таблица 1

#### Результаты исследования зависимости скорости реакции от температуры

№ опыта	1	2	3	4	5
Температура растворов, °С					
Время протекания реакции $\tau$ , с					
$v_{\text{усл}}$ , с <sup>-1</sup>					



Для определения величины энергии активации  $E_a$  следует построить график в аррениусовских координатах  $\ln k - \frac{1}{T}$ . С этой целью проведите необходимые расчёты и заполните таблицу 2.

Таблица 2

**Данные для построения графиков зависимости скорости реакции от температуры в аррениусовских координатах**

№ опыта	1	2	3	4	5
Температура, °С					
Температура $T$ , К					
$\frac{1}{T}$ , К <sup>-1</sup>					
$v_{\text{усл}}$ , с <sup>-1</sup>					
$\ln v$					

*Контрольные вопросы*

1. Правило Вант-Гоффа называется эмпирическим. Как вы это понимаете?
2. Почему не все столкновения между частицами являются результативными, т. е. приводят к химической реакции?
3. Что такое энергия активации? От каких факторов она зависит?

*Литература*

1. Глинка Н. Л. Общая химия: Учебное пособие для вузов / под ред. А.И. Ермакова. М.: Интеграл-Пресс, 2003. С. 186—210.
2. Дорофеев М. В., Беспалов П. И. Изучение скорости химической реакции с использованием цифровой лаборатории // Химия в школе. 2011. № 8. С. 43—50.
3. Зайцев О. С. Неорганическая химия: учеб. для 10 (11) кл. общеобразоват. учреждений с углубл. изуч. предмета и с изуч. предмета на профильном уровне. М.: АСТ-Пресс Школа., 2006. С. 192—248.
4. Леенсон И. А. Как и почему происходят химические реакции. Элементы химической термодинамики и кинетики. Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2010. С. 224.
5. Леенсон И. А. Рассказы о химической кинетике. Рассказ пятый. Уравнение скорости // Химия и жизнь. 1972. № 6. С. 50—51.
6. Медведев Ю. Н. Скорость и механизмы химических реакций // Химия в школе. 2010. № 6. С. 57—63; 2010. № 7. С. 44—50.
7. Медведев Ю. Н. Зависимость скорости реакции от температуры, или Кто прав: Вант-Гофф или Аррениус // Химия в школе. 2010. № 8. С. 49—55.
8. Полторак О. М. Современные теории химии и изучение химии в школе // Соросовский Образовательный Журнал. 1995, №1. С. 50—56.
9. Шульпин Г. Б. Химическая реакция и секундомер // Наука и жизнь. 1979. № 5. С. 105—107.



## ПОМОЩЬ УЧИТЕЛЮ

## Анкета для расчёта индивидуального индекса качества урока

Выберите подходящие вам утверждения и подсчитайте сумму баллов			
№	Утверждение	0 баллов	1 балл
1	На уроке я работал	не активно	активно
2	Своей работой на уроке я	не доволен	доволен
3	За урок я	устал	не устал
4	Моё настроение	стало хуже	стало лучше
5	Материал урока мне был	не понятен	понятен
6		бесполезен	полезен
7		скучен	интересен
8		труден	не труден
9	Связь урока с другими науками	не заметна	заметна

## Методические комментарии

На 4-м этапе урока каждой рабочей группе можно поручить выполнение только одного измерения, при одной конкретной температуре. Такой подход позволит увеличить учебное время, отведённое для 5-го этапа урока, что позволит детально обобщить результаты всех групп, уделить больше внимания математическим методам обработки данных экспериментального исследования. Обычно школьников очень впечатляет тот факт, что экспериментальные данные, полученные разными рабочими группами и представленные в соответствующих координатах, ложатся на одну прямую и довольно близки результатам, представленным в литературных источниках.

## Задания к уроку

## 1. Задание на развитие функциональной грамотности

1) Альпинисты знают, что высоко в горах трудно сварить яйцо и вообще любую пищу, требующую более или менее длительного кипячения. Как это можно объяснить? Почему жители высокогорья предпочитают варке пищи её жарку?

2) В книгах по кулинарии можно прочитать, что в обычной кастрюле (при 100 °С) говядина варится 2—3 ч, компот из яблок — 10—15 мин. Оцените время приготовления отварной говядины и яблочного компота в кастрюле-скороварке, т. е. в автоклаве под давлением. Температура кипения в такой скороварке составляет 118 °С. В расчётах примите значение энергии активации процессов приготовления указанных блюд равным ~ 120 кДж/моль (по И. А. Леенсону<sup>1</sup>).

Решение:

1) По мере подъёма вверх, в горы, падает атмосферное давление. С понижением атмосферного давления уменьшается температура кипения воды примерно на 4 °С на каждый километр высоты. Это приводит к существенному снижению скорости приготовления пищи и увеличению времени её варки. Температура скороварки, в отличие от температу-

<sup>1</sup> Леенсон И. А. Как и почему происходят химические реакции. Элементы химической термодинамики и кинетики. Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2010. С. 106—117.



ры кипящей воды в кастрюле, не зависит от атмосферного давления, поэтому в горах предпочитают не варить продукты, а жарить.

2) Используя уравнение Аррениуса (13), рассчитаем, во сколько раз возрастёт скорость приготовления пищи при повышении температуры от 100 до 118 °С:

$$\frac{k_2}{k_1} = \frac{A \cdot e^{-\frac{E_a}{RT_2}}}{A \cdot e^{-\frac{E_a}{RT_1}}}, \quad (19)$$

где  $k_1$  и  $k_2$  — константы скорости процессов приготовления указанных в задании блюд при  $T_1$  (100 °С = 373 К) и при  $T_2$  (118 °С = 391 К) соответственно. После логарифмирования и преобразования выражения (19) получаем:

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a(T_2 - T_1)}{RT_1T_2} = \frac{1,2 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}} \cdot 18 \text{ К}}{8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 373 \cdot 391 \text{ К}} \approx 1,8. \quad (20)$$

Таким образом, при повышении температуры от 100 до 118 °С скорость реакции возрастает

$$\frac{k_2}{k_1} = e^{1,8} \approx 6 \text{ раз}. \quad (21)$$

Соответственно время приготовления пищи уменьшится в 6 раз, говядину нужно отваривать 20—30 мин, а яблочный компот сварится за 2—3 мин.

## 2. Задание для подготовки к ГИА, ВПР

1. Из предложенного перечня внешних воздействий выберите те, которые приводят к увеличению скорости реакции окисления аммиака до оксида азота (II).

- 1) нагревание реакционной смеси
- 2) увеличение давления в смеси
- 3) использование катализатора
- 4) увеличение концентрации кислорода
- 5) удаление оксида азота (II) из смеси

Ответ: 1, 2, 3, 4.

2. Воздействия, которые приводят к уменьшению скорости реакции щелочного гидролиза (омыления) жира:

- 1) понижение температуры
- 2) эмульгирование жира
- 3) использование катализатора
- 4) уменьшение концентрации щелочи
- 5) уменьшение давления в системе

Ответ: 1, 4.

3. Из предложенного перечня выберите все реакции, для которых измельчение твёрдого вещества приводит к увеличению скорости.

- 1)  $\text{CaCO}_3 + 4\text{C} = \text{CaC}_2 + 3\text{CO}$
- 2)  $2\text{C}_2\text{H}_2 + 5\text{O}_2 = 4\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$





- 3)  $\text{CO} + 2\text{H}_2 = \text{CH}_3\text{OH}$
- 4)  $4\text{NO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 = 4\text{HNO}_3$
- 5)  $\text{SiO}_2 + 2\text{NaOH} = \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

Ответ: 1, 5.

4. Из предложенного перечня выберите схемы всех реакций, для которых повышение давления приводит к увеличению скорости:

- 1)  $\text{OH}^- + \text{CO}_2 \rightarrow \text{HCO}_3^-$
- 2)  $2\text{OH}^- + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$
- 3)  $\text{CaO} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3$
- 4)  $\text{HCO}_3^- + \text{OH}^- \rightarrow \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$
- 5)  $\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

Ответ: 1, 2, 3.

*Темы возможных проектных и исследовательских работ*

1. Температурные оптимумы каталазы, выделенной из животной и растительной тканей.
2. Оптимальные условия для стирки белья с помощью средств, содержащих ферменты.
3. Температурная зависимость скорости реакции пойкилотермных животных на внешние раздражители.
4. Определение энергии активации процессов приготовления молочнокислых продуктов в домашних условиях.
5. Скорость коррозии стали в водных растворах.
6. Кинетика и механизмы адсорбции и десорбции фенола и его производных на пористых силикатах.
7. Особенности протекания колебательных реакций.

### Тема урока:

#### «Кондуктометрическое и потенциометрическое титрование»

Цифровые лаборатории (ЦЛ), входящие в поставку «Школьного кванториума», позволяют учителю химии организовать химический эксперимент на новом уровне, перейти от исключительно качественной оценки наблюдаемых явлений к анализу их количественных характеристик, по-новому изучать явления и свойства веществ. С этой точки зрения решение задач *количественного химического анализа* предоставляет необозримое поле учебной деятельности для применения ЦЛ. Сбор и обработка результатов количественных экспериментов, их интерпретация играют важную роль в развитии критического анализа информации, позволяют научить школьников сравнивать и обобщать, выявлять главное и устанавливать закономерности, самостоятельно формулировать проблему, выдвигать и экспериментально проверять гипотезу, формулировать выводы; позволяет обучать методам познания. Такой подход определяется целевыми требованиями ФГОС СОО.

### Важно!

Титриметрический (объёмный) метод анализа основан на измерении количества реагента, требующегося для завершения реакции с данным количеством определяемого вещества. Основоположником объёмного анализа является французский учёный Ж. Л. Гей-Люссак. Титриметрические методы анализа основаны на использовании самых разнообразных реакций. В школьном курсе химии больше уделяют внимания реакции нейтрализации, т. е. методам кислотно-основного титрования. Точку эквивалентности (конечную точку титрования) фиксируют обычно с помощью кислотно-основных индикаторов: метилового оранжевого, фенолфталеина.



Однако определение точки эквивалентности с помощью индикаторов не являются единственным, существуют и другие так называемые физико-химические методы. Во многих случаях применение индикаторов в процессе объемно-аналитических определений оказывается невозможным по разным причинам. Трудно или практически невозможно наблюдать изменение окраски индикатора в окрашенных или мутных растворах. В других случаях, например, при титровании слабых и очень слабых кислот и оснований, индикаторы оказываются бесполезными, так как с их помощью невозможно достичь требуемой точности определения.

Проведение урока «Кондуктометрическое и потенциометрическое титрование» в 11 классе позволяет повторить и обобщить знания по теме «Растворы электролитов», сформировать представления об электрохимических методах количественного анализа, провести экспериментальное исследование, нацеленное на выявление учебной проблемы и ее разрешение.

**Тип урока:** обобщение знаний в процессе экспериментального исследования.

Класс: 11.

Цель урока: создать условия для повторения и обобщения знаний у обучающихся об электролитах, электролитической диссоциации, реакциях ионного обмена, водородном показателе, сформировать умения определять концентрацию слабых кислот в окрашенных растворах методами кондуктометрического и потенциометрического титрования.

Продолжительность урока: два академических часа.

### Планируемые результаты

#### *Предметные:*

- повторить и обобщить знания по теме «Растворы электролитов», развить представления об электролитах;
- научиться определять концентрацию слабых кислот в окрашенных растворах методами кондуктометрического и потенциометрического титрования;
- проводить необходимые стехиометрические расчёты, обрабатывать результаты кислотно-основного титрования.

#### *Метапредметные:*

##### Познавательные:

- формулировать рабочую гипотезу и цели исследования;
- планировать исследовательский эксперимент;
- интерпретировать полученные результаты;
- формулировать выводы.

##### Регулятивные:

- контролировать и оценивать результаты деятельности, вносить коррективы в их выполнение.

##### Коммуникативные:

- полно и точно выражать свои мысли, аргументировать собственную точку зрения, вступать в диалог;
- эффективно работать в паре и в группе при решении учебной задачи.

##### Личностные:

- развивать практические умения, связанные с получением и математической обработкой данных количественного химического эксперимента;
- проявлять познавательную активность в процессе проведения химического эксперимента, нацеленного на повторение и обобщение знаний об электролитах.



**Оборудование, программное обеспечение и расходные материалы:** интерактивная доска либо компьютер и мультимедийный проектор, электронные таблицы, калькуляторы, листы миллиметровой бумаги, линейки, карандаши, программное обеспечение *Releon Lite*, датчик pH, датчик электропроводности, магнитная мешалка, секундомер, бюретка, автоматическая микропипетка переменного объема на 100—1000 мкл, 2 стакана на 100 мл, штатив лабораторный с лапкой для крепления датчика, стандартный 0,1 М раствор гидроксида натрия. Объекты для исследования: окрашенные соки (вишнёвый, томатный) или другие напитки (морсы, компоты и пр.).

### Ход урока

#### Этап урока 1. Организационный

Предполагаемая продолжительность: 1—2 мин.

Педагогическая деятельность учителя:

проверяет готовность к уроку, организует работу класса на уроке, создаёт положительный эмоциональный настрой у обучающихся.

Учебная деятельность обучающихся:

эмоционально настраиваются на предстоящую учебную деятельность.

#### Этап урока 2. Актуализация знаний

Предполагаемая продолжительность: 30 мин.

Педагогическая деятельность учителя:

проводит фронтальную беседу; актуализирует имеющиеся знания об электролитах; помогает выявить учебную проблему, основу для предстоящего экспериментального исследования; побуждает обучающихся к выдвижению гипотезы, формулировке целей, высказыванию предложений о способе и средствах их достижения.

*Работа с терминами и понятиями.*

Повторить и обобщить знания учащихся об электролитической диссоциации, сильных и слабых электролитах, факторах, влияющих на степень электролитической диссоциации, реакциях ионного обмена, протекающих в водных растворах, водородном показателе pH.

*Описание проблемной ситуации.*

Производители соков, нектаров, морсов, компотов и других продуктов переработки фруктового сырья часто добавляют в свою продукцию различные кислоты. К ним относятся регуляторы кислотности (лимонная, яблочная, винная и другие кислоты), антиокислители (аскорбиновая кислота), консерванты (сорбиновая, бензойная кислоты). Согласно нормативным документам содержание добавленных кислот в пищевой продукции строго регламентировано и не должно превышать определённых значений. Для определения содержания кислот применяется метод кислотнo-основного титрования. Титрование анализируемого продукта проводят стандартным раствором гидроксида натрия в присутствии индикатора, например фенолфталеина<sup>1</sup>. Но как зафиксировать точку эквивалентности, если изменение окраски индикатора не будет заметно в окрашенном соке?

<sup>1</sup> ГОСТ ISO 750—2013. Продукты переработки фруктов и овощей. Определение титруемой кислотности.



### Учебная деятельность обучающихся

отвечают на вопросы, высказывают свои предположения, предлагают и согласовывают с учителем тему и цель урока; предлагают способы и средства достижения цели.

*Предполагаемое объяснение проблемной ситуации.*

Для определения содержания кислот в исследуемых напитках применяется метод кислотно-основного титрования. Обычно точка эквивалентности (ТЭ) фиксируется с помощью кислотно-основных индикаторов (фенолфталеина, метилового оранжевого, реже лакмуса), которые изменяют свою окраску. Однако в сильно окрашенных растворах переход окраски индикатора заметить невозможно. Для фиксирования ТЭ можно использовать электрохимические методы. В этом случае наблюдение ведут не за изменением окраски раствора, а за изменением электрохимических показателей титруемого раствора: электропроводности (кондуктометрическое титрование), электрического потенциала на поверхности рабочего электрода (потенциометрическое титрование), тока в электрохимической ячейке (амперометрическое титрование) и т. п. При этом титрование выполняют обычным способом, но вместо визуального наблюдения за изменением окраски индикаторов фиксируют показания соответствующих датчиков.

*Способ решения проблемы.*

Для определения содержания кислот в исследуемых напитках можно использовать два метода количественного анализа: кондуктометрическое и потенциометрическое титрование.

Метод титрования, при котором ТЭ фиксируют по резкому изменению электрической проводимости исследуемого раствора, называют *кондуктометрическим*. Этот метод анализа основан на изучении зависимости между электропроводностью раствора и концентрацией ионов в этом растворе.

Электрическая проводимость (электропроводность)  $G$  является результатом диссоциации растворённого вещества и миграции ионов под действием внешнего источника напряжения. В электрическом поле движущиеся в растворе ионы испытывают тормозящее действие со стороны молекул растворителя и окружающих противоположно заряженных ионов. Результатом такого тормозящего действия является электрическое сопротивление раствора  $R$ . Обратная величина — электропроводность:

$$G = \frac{1}{R} \quad (22)$$

В Международной системе (СИ) единицей измерения сопротивления является Ом, единица проводимости называется *сименсом* [См].  $1 \text{ См} = 1 \text{ Ом}^{-1}$ .

Из курса физики известно понятие удельное сопротивление  $\rho$  — физическая величина, характеризующая способность материала препятствовать прохождению электрического тока. Оно связано с электрическим сопротивлением  $R$ , площадью поперечного сечения  $S$  и длиной  $l$  проводника:

$$\rho = \frac{R \cdot S}{l} \quad (23)$$

Соответственно величина, обратная удельному сопротивлению, называется удельной электрической проводимостью  $\kappa$ :

$$\kappa = \frac{l}{R \cdot S} \quad (24)$$

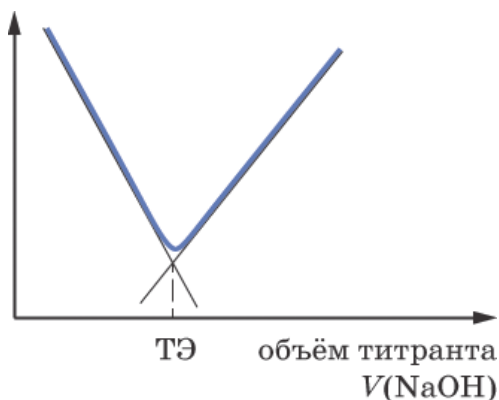
Соответственно единицы измерения удельной электропроводности:

$$\left[ \frac{\text{м}}{\text{Ом} \cdot \text{м}^2} = \frac{1}{\text{Ом} \cdot \text{м}} = \frac{\text{См}}{\text{м}} \right]$$

Значения именно удельной электропроводности показывают датчики ЦЛ, входящие в комплект «Школьного кванториума». Они позволяют переключать диапазоны измерений удельной электропроводности и выводят на экран значения  $\kappa$  в микросименсах на сантиметр:

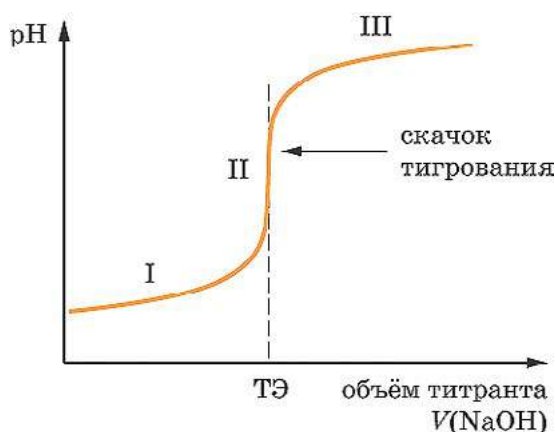
$$\left[ \frac{\text{мкСм}}{\text{см}} \right]$$

При кондуктометрическом титровании строят кривые в координатах «удельная электрическая проводимость — объём титранта», которые обычно имеют вид ломаной линии, где точки перегиба (излома) соответствуют ТЭ (рис. 7). При выполнении титрования получают не менее четырёх значений электропроводности до ТЭ и не менее четырёх — после ТЭ. Через полученные точки проводят прямые линии, которые показаны чёрным цветом на рисунке 7. Точка пересечения этих линий соответствует ТЭ.



**Рис. 7.** Вид кривой кондуктометрического титрования сильной кислоты раствором сильного основания (титрантом). ТЭ — точка эквивалентности

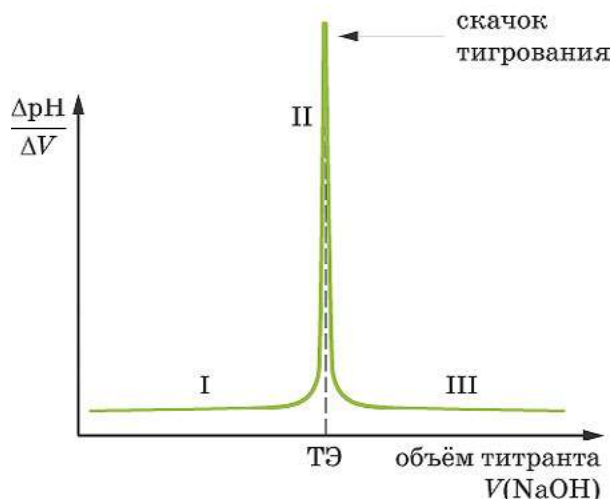
Фиксировать ТЭ кислотно-основного титрования можно, применяя датчик рН. В этом случае речь идёт о другом электрохимическом методе — *потенциометрии*. Кривые потенциометрического титрования строят в координатах «рН — объём титранта». Форма кривой титрования может быть различной, в зависимости от анализируемого вещества и титранта. Но на любой кривой можно выделить три участка (рис. 8): I и III участки довольно пологие, на них изменение величины рН от объёма добавленного рабочего раствора происходит незначительно. I участок отвечает интервалу изменения рН до ТЭ, III участок — после неё. В интервале участка II происходит резкое изменение величины рН при незначительном добавлении объёма рабочего раствора — титранта. Это — скачок титрования, в нём находится ТЭ.



**Рис. 8.** Вид кривой потенциметрического титрования сильной кислоты раствором сильного основания (титрантом). ТЭ — точка эквивалентности

При титровании сильных кислот сильными щелочами (и наоборот) скачок титрования достаточно большой, отчётливо фиксируется на кривой (рис. 8). Однако, если в процессе титрования участвуют слабые электролиты, интервал скачка титрования сужается, что затрудняет установление ТЭ. В этом случае экспериментальные данные перестраивают в координатах « $\frac{\Delta pH}{\Delta V} - V$ » (рис. 9), где  $\Delta pH$  — изменение значения вели-

чины водородного показателя, а  $\Delta V$  — разность объёма титранта (мл) между последующей порцией добавленного рабочего раствора и предыдущей. Получают так называемые дифференциальные кривые, на которых ТЭ определяется по выраженному пику (рис. 9).



**Рис. 9.** Вид дифференциальной кривой потенциметрического титрования сильной кислоты раствором сильного основания (титрантом). ТЭ — точка эквивалентности

**Этап урока 3. Применение знаний в новой ситуации**

Предполагаемая продолжительность: 35 мин.

Педагогическая деятельность учителя:

предлагает обучающимся экспериментально определить общую титруемую кислотность сока, т. е. содержание в нём минеральных и органических кислот, методами кондуктометрического и потенциометрического титрования.

Учитель корректирует выполнение экспериментального исследования рабочими группами. Предупреждает, что при выполнении работы следует соблюдать осторожность при обращении с раствором гидроксида натрия.

Учебная деятельность обучающихся:

формируют рабочие группы по 2 человека, получают задание и оборудование. Выполняют экспериментальное исследование в парах, используя инструкцию (см. материалы для копирования), оформляют результаты измерений и расчёты в тетради или на специальных бланках. Обобщают результаты всех рабочих групп, сравнивают значения титруемой кислотности, полученные как для одного образца сока, так и для разных соков. Пересчитывают полученные значения в массовую долю кислот, сравнивают результаты с действующими ГОСТами.

**Этап урока 4. Обобщение и интерпретация полученных результатов, контроль усвоения, обсуждение допущенных ошибок и их коррекция**

Предполагаемая продолжительность: 10 мин.

Педагогическая деятельность учителя:

организует обсуждение результатов исследования. В ходе фронтальной беседы предлагает обучающимся объяснить явления, наблюдаемые в процессе выполнения исследования, используя знания об электролитах, электролитической диссоциации, реакциях ионного обмена, водородном показателе. Предлагает сформулировать обобщающие выводы о методах определения концентрации кислот в окрашенных растворах методами кондуктометрического и потенциометрического титрования.

Помогает выяснить причины допущенных инструментальных или статистических ошибок, определить пути их исправления. В заключение задаёт контрольные вопросы (см. материалы для копирования).

Учебная деятельность обучающихся:

объясняют ход кривых кондуктометрического и потенциометрического титрования, используя понятия: «электролиты», «электролитическая диссоциация», «сила электролита», «реакции ионного обмена», «реакция нейтрализации», «водородный показатель». На основе полученных экспериментальных данных, обобщая результаты всех рабочих групп, заполняют таблицу 1. Формулируют выводы, отвечают на контрольные вопросы.

**Содержание кислот в исследуемых напитках**

Образец	Концентрация кислот (катионов $H^+$ ), ммоль/л	Массовая доля кислот, %		Вывод
		Установленная экспериментально	Установленная нормативными документами*	

\* Федеральный закон от 27 октября 2008 г. № 178-ФЗ «Технический регламент на соковую продукцию из фруктов и овощей». Статья 7. «Требования к безопасности соковой продукции из фруктов и (или) овощей для детского питания и её пищевой ценности».



Возраст детей	Массовая доля титруемых кислот в соковой продукции из фруктов и (или) овощей, %	
	из цитрусовых фруктов*	из других видов фруктов и (или) овощей**
Ранний возраст (1—3 года)	не более 1,2	не более 0,8
Дошкольный (3—6 лет) и школьный (7—16 лет) возраст	не более 1,3	не более 1,3

\* В пересчёте на безводную лимонную кислоту  
\*\* В пересчёте на яблочную кислоту

### Этап урока 5. Информация о домашнем задании и рефлексия

Предполагаемая продолжительность: 6—7 мин.

Педагогическая деятельность учителя:

информирует о домашнем задании, даёт комментарий по его выполнению; предлагает анкету рефлексии к уроку и предлагает рассчитать «Индивидуальный индекс качества урока»; подводит рефлексивную статистику урока по количеству учеников, у которых индекс качества выше значения 5; демонстрирует запись проблемы и цели урока, спрашивает: «Как вы думаете, решена ли проблема, достигнута ли цель?». Если проблема не решена и цель не достигнута, предлагает объяснение и задаёт в дополнение к домашнему заданию подумать над причинами этого.

Учебная деятельность обучающихся:

задают уточняющие вопросы о выполнении домашнего задания; рассчитывают индивидуальный индекс качества урока; определяют степень соответствия поставленной цели и результатов деятельности; степень своего продвижения к цели; высказывают оценочные суждения и соотносят результаты своей деятельности с целью урока.

### Материалы для подготовки к уроку

Инструкция к экспериментальному исследованию

*«Определение содержания кислот в напитках (соках) методами кондуктометрического и потенциометрического титрования»*

#### 1) Кондуктометрическое титрование

Промойте щуп датчика дистиллированной водой и аккуратно вытрите его фильтровальной бумагой. Щуп закрепите в лапке штатива. Подключите датчик электропроводности к компьютеру, переведите переключатель диапазона измерений в положение «0—2000». Включите компьютер.

Заполните бюретку раствором титранта — стандартным раствором гидроксида натрия, концентрация которого известна (0,100 моль/л). Слейте немного раствора из бюретки в стакан так, чтобы из оттянутой части, ниже крана, полностью вышел воздух. Под бюретку, на основание штатива, установите магнитную мешалку так, чтобы ось бюретки проходила примерно через центр мешалки. Под бюретку поставьте стакан, чтобы возможные капли не попали на поверхность мешалки.

С помощью автоматической микропипетки (100—1000 мкл) аккуратно отберите и перенесите в чистый стакан точно измеренный объём (аликвоту) исследуемого сока — 10,0 мл. В стакан поместите якорь магнитной мешалки. Дистиллированной водой аккуратно доведите объём исследуемого раствора до ~ 50 мл.





Поставьте стакан на мешалку, опустите в стакан щуп датчика электропроводности. Уровень жидкости должен быть выше чувствительного элемента щупа. Включите режим перемешивания. Запустите измерения электропроводности.

Начните титрование, небольшими порциями приливайте стандартный раствор гидроксида натрия в стакан с титруемым соком, фиксируйте значение удельной электропроводности. Полученные результаты запишите в таблицу 1.

Таблица 1

**Результаты кондуктометрического титрования**

Объём добавленного 0,100 М раствора NaOH, мл	Электропроводность смеси, мкСм/см

Первое титрование проведите как оценочное для установления диапазона, в котором находится ТЭ. При повторном (более точном) титровании в непосредственной близости от ТЭ старайтесь приливать раствор щелочи возможно меньшими объёмами. Перед повторным титрованием каждый раз тщательно промывайте стакан, якорь магнитной мешалки и щуп датчика дистиллированной водой, а затем вытирайте фильтровальной бумагой.

Старайтесь выполнять все операции аккуратно, чтобы результаты двух подходов к титрованию одного и того же образца сока не расходились более чем на 1—2%.

На миллиметровой бумаге постройте кривую кондуктометрического титрования, используя данные из таблицы 1. Определите ТЭ, рассчитайте концентрацию кислот (концентрацию катионов  $H^+$ ) в исследуемом образце сока. Пересчитайте полученное значение в массовую долю кислоты: для соков из цитрусовых — на лимонную кислоту, а для соков из других фруктов — на яблочную.

**2) Потенциометрическое титрование**

Промойте щуп датчика pH дистиллированной водой и аккуратно вытрите его фильтровальной бумагой. *Внимание!* Чувствительный элемент датчика pH — стеклянный шарик в его нижней части. Он очень хрупкий, поэтому не следует касаться им любых твёрдых поверхностей или ронять. Не трогайте руками чувствительный элемент датчика!

Аналогично предыдущему опыту проведите потенциометрическое титрование, используя датчик pH. Полученные значения запишите в таблицу 2. *Будьте внимательны!* Датчик pH, в отличие от датчика электропроводности, имеет более длительное время отклика. Поэтому после добавления каждой порции титранта, стандартного раствора гидроксида натрия, необходимо выждать некоторое время, пока показания pH не стабилизируются.

Таблица 2

**Результаты потенциометрического титрования**

Объём добавленного 0,100 М раствора NaOH, мл	pH

Как и в предыдущем опыте, первое титрование — оценочное, для установления диапазона, в котором находится ТЭ. Повторное и последующее титрование более точное. В непосредственной близости от ТЭ приливайте раствор щелочи возможно меньшими объё-



ёмами. Не забывайте перед повторным титрованием промывать стакан, якорь магнитной мешалки и щуп датчика дистиллированной водой, вытирать их фильтровальной бумагой.

На миллиметровой бумаге постройте кривую потенциометрического титрования, используя данные из таблицы 2. Укажите на графике область скачка титрования. Если область скачка сглажена, то более простое и точное нахождение ТЭ основано на анализе дифференциальных кривых. Постройте полученные данные потенциометрического титрования в координатах « $\frac{\Delta \text{pH}}{\Delta V} - V$ ». Дифференциальная кривая имеет пикообразную форму, максимум которой соответствует ТЭ.

Для полученных значений ТЭ сравните значения объёма добавленного стандартного раствора NaOH, электропроводности и pH в каждом из двух опытов. Рассчитайте концентрацию кислот (концентрацию катионов  $\text{H}^+$ ) и их массовую долю в исследуемом соке. Наблюдается ли сходимость результатов, полученных методами кондуктометрического и потенциометрического титрования для одного и того же образца исследуемого напитка?

#### *Контрольные вопросы*

1. Что такое титрование? Какая реакция лежит в основе метода кислотно-основного титрования?
2. Какие вещества называются проводниками? Что общего и чем различаются проводники I и II рода?
3. Дайте определения следующим понятиям: «электрическая проводимость», «удельная электропроводность». В каких единицах измеряется каждая из указанных величин?
4. Какие факторы оказывают влияние на электропроводность растворов электролитов? Как объяснить это влияние?
5. Объясните характер зависимости удельной электропроводности от концентрации электролита в растворе.
6. Что такое электродный потенциал? В каких единицах он выражается? На чём основан потенциометрический метод анализа?
7. Что такое водородный показатель pH?
8. Объясните принцип кислотно-основного титрования с использованием датчика pH.

#### *Литература*

1. Жуков А. Ф., Колосова И. Ф., Кузнецов В. В. и др. Аналитическая химия. Физические и физико-химические методы анализа: учеб.к для вузов / под ред. О. М. Петрухина. М.: Химия, 2001. 496 с.; С. 198—241.
2. Лунин В. В., Дроздов А. А., Кузьменко Н. Е., Еремин В. В. Химия. 11 класс: учеб.: углубл. уровень. ФГОС. М.: Дрофа, 2020. С . 480.
3. Осипова Е. А. Электроаналитические методы и проблема охраны окружающей среды. / Соросовский образовательный журнал. Т. 7. 2001. №2. С. 47—54.
4. Шведене Н. В. Ионоселективные электроды // Соросовский Образовательный Журнал. 1999, № 5. — С. 60—65.
5. Энциклопедия для детей. Том 17. Химия. М.: Аванта+. 2000. С. 155—164.



## ПОМОЩЬ УЧИТЕЛЮ

## Методические комментарии

Данное экспериментальное исследование с применением электрохимических методов количественного анализа рассчитано на 2 академических часа. Предлагаемый вариант учебной деятельности позволяет одиннадцатиклассникам повторить и обобщить знания, которые они приобрели при изучении темы «Растворы электролитов», обучаясь в 8—10 классах. Именно в плоскости этих дидактических задач учитель должен выстраивать структуру учебного занятия.

Если для проведения данного исследования отводится два урока, то целесообразно первый урок посвятить теоретическим вопросам, а второй — операционному этапу, непосредственно выполнению исследования: и кондуктометрическому, и потенциометрическому титрованию. Такой подход позволяет школьникам осмысленно выполнять эксперимент и развить свои представления об экспериментальных методах исследования. Решая практическую задачу, убедиться, что стехиометрические соотношения между реагентами и продуктами химических реакций могут быть количественно измерены с помощью различных методов. Причём полученный результат не зависит от применяемого метода.

## Задания к уроку

## 1. Задание на развитие функциональной грамотности

В школьную столовую поступила партия апельсинового сока. Юные исследователи решили проверить, удовлетворяет ли данный сок требованиям Федерального закона № 178-ФЗ «Технический регламент на соковую продукцию из фруктов и овощей» (требования см. выше, 5-й этап урока), не превышено ли содержание кислот в этом соке. С этой целью они провели кондуктометрическое титрование. Кривые титрования 10,00 мл сока 0,100 М раствором гидроксида натрия представлены на рисунке 10.

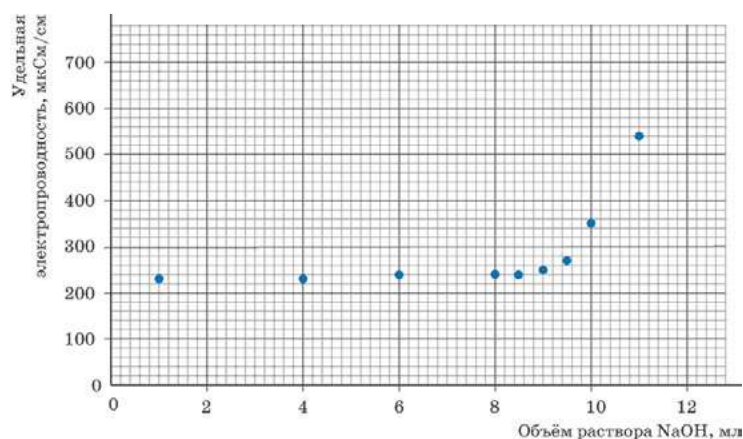
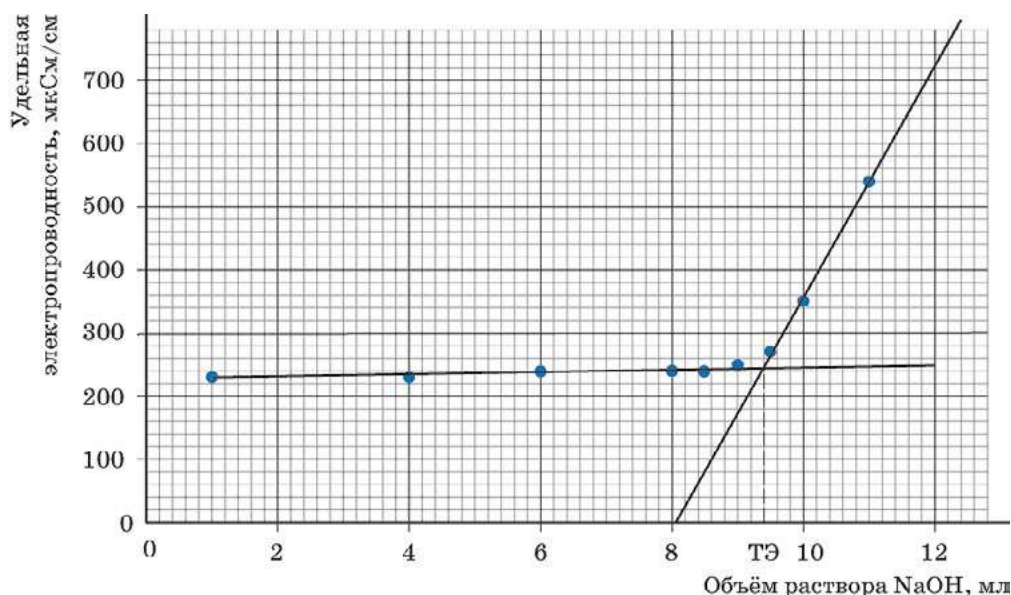


Рис. 10. Результаты кондуктометрического титрования исследуемого сока стандартным раствором щелочи (0,1 М)

Используя данные, представленные на рисунке 10, установите, не превышено ли содержание кислот в исследуемом соке по сравнению с нормативами, установленными Федеральным законом.

Решение:

Для определения ТЭ титрования нужно провести прямые линии через полученные экспериментальные точки (прямые показаны чёрным цветом на рис. 11). Точка пересечения этих линий соответствует ТЭ.



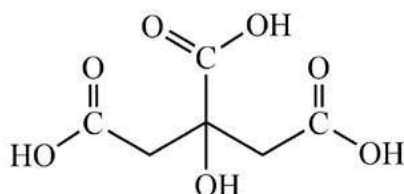
**Рис. 11.** Кривые кондуктометрического титрования. Через точки, данные эксперимента, проведены прямые линии (показаны чёрным цветом). ТЭ — точка эквивалентности

Из рисунка 11 видно, что в ТЭ добавлено 9,4 мл 0,1 М раствора щелочи. Данное количество щелочи потребовалось для нейтрализации кислот, содержащихся в 10,00 мл сока. Эти данные позволяют рассчитать суммарную концентрацию кислот (катионов  $H^+$ ):

$$C_{H^+} = \frac{C_{NaOH} \cdot V_{NaOH}}{V_{H^+}} = \frac{0,100 \frac{\text{моль}}{\text{л}} \cdot 9,4 \text{ мл}}{10,00 \text{ мл}} = 0,094 \frac{\text{моль}}{\text{л}}, \quad (25)$$

где  $C_{H^+}$  — концентрация кислот в исследуемом соке;  $V_{H^+}$  — объём отобранной пробы сока;  $C_{NaOH}$  и  $V_{NaOH}$  — концентрация и объём рабочего раствора щелочи, титранта.

Согласно Техническому регламенту (ФЗ № 178-ФЗ) массовую долю титруемых кислот в соках из цитрусовых фруктов (апельсин) пересчитывают на безводную лимонную кислоту:



Это трёхосновная кислота, молярная масса которой равна 192,1 г/моль. Если принять, что плотность сока  $\rho = 1 \frac{\text{г}}{\text{мл}}$ , то массовая доля кислот составит:

$$\omega_{\text{кислот}} = \frac{0,094 \cdot 0,1 \cdot 192,1}{3} = 0,6\%$$



Согласно Техническому регламенту (ФЗ № 178-ФЗ) соки для детей школьного возраста должны содержать не более 1,3% титруемых кислот. Таким образом, содержание кислот в исследуемом соке не превышает установленного норматива. В соответствии с данным параметром реализация исследуемого апельсинового сока в школьной столовой допустима.

**2. Задание для подготовки к ГИА, ВПР**

1. Электрическая лампочка прибора для проверки электропроводности загорится при опускании электродов в водные растворы

- |                     |                   |
|---------------------|-------------------|
| 1) формальдегида    | 4) ацетата натрия |
| 2) глюкозы          | 5) хлороводорода  |
| 3) этилового спирта |                   |

Ответ: 4, 5.

2. Для веществ, приведённых в перечне, определите среду их водных растворов с одинаковой молярной концентрацией.

- |                       |                                    |
|-----------------------|------------------------------------|
| 1) HCl                | 3) Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> |
| 2) NaHCO <sub>3</sub> | 4) NaCl                            |

Запишите номера веществ в порядке возрастания значения pH их водных растворов.

--	--	--	--

Ответ: 1, 4, 2, 3.

3. К 39,2 г 10%-го раствора серной кислоты добавили необходимое количество 5%-го раствора гидрокарбоната калия. При этом исходные вещества прореагировали полностью, в растворе осталась только одна средняя соль. Какова массовая доля этой соли в растворе по окончании реакции? Ответ выразите в процентах и округлите до десятых.

Ответ: 3,5%.

*Темы возможных проектных и исследовательских работ*

1. Метод кислотно-основного титрования в стандартизации лекарственных препаратов.
2. Количественное определение витамина С в растительном сырье.
3. Кондуктометрия в исследовании адсорбции ионов на поверхности твёрдой оксидной фазы.
4. Определение титруемой кислотности кондитерских изделий методом потенциометрического кислотно-основного титрования.
5. Потенциометрическое титрование в контроле качества очистки сточных вод.

**Тема урока:**

**«Фотокolorиметрическое определение концентрации растворённого вещества»**

«Школьный кванториум» включает оборудование, которое позволяет организовать учебное исследование с применением методов фотометрического и спектрофотометрического химического анализа. К этому оборудованию относятся датчики оптической плотности (зелёный — 525 нм и синий — 470 нм), а также спектрофотометр.

**Важно!**

Фотометрический метод анализа основан на измерении интенсивности светового потока, прошедшего через окрашенный раствор. Ещё в XVII веке английский учёный Роберт Бойль, используя экстракт дубильных орешков, чтобы различать железо и медь в растворе, впервые заметил, что чем больше железа содержится в растворе, тем более интенсивна окраска последнего. Это был первый шаг к колориметрии. Затем в конце XVIII века, в развитие этого метода химического анализа внёс вклад русский учёный В. М. Севергин. Он, как и Бойль, использовал интенсивность окраски раствора для оценки концентрации содержащегося в нем вещества.

Фотометрия позволяет реализовать возможности межпредметных связей химии и физики, полнее раскрыть дидактический потенциал этих двух школьных дисциплин. В курсе химии учебное исследование с применением фотометрического метода определения концентрации окрашенных ионов в растворе логично включить в тему «Растворы. Способы выражения состава растворов». В курсе физики это исследование связано с темами «Оптика», «Излучение и спектры».

**Тип урока:** обобщение знаний в процессе экспериментального исследования.

Класс: 11.

Цель урока: создать условия для повторения и обобщения знаний у обучающихся о растворах, способах выражения их состава, молярной концентрации растворенного вещества, сформировать умения определять концентрацию окрашенных ионов фотокolorиметрическим методом.

Продолжительность урока: один академический час.

**Планируемые результаты****Предметные:**

- повторить и обобщить знания по теме «Растворы. Способы выражения их состава», развить представления об ионах, в том числе комплексных ионах;
- научиться определять концентрацию окрашенных ионов в растворах фотометрическим методом;
- проводить необходимые стехиометрические расчёты, обрабатывать результаты фотометрического метода анализа.

**Метапредметные:****Познавательные:**

- формулировать рабочую гипотезу и цели исследования;
- планировать исследовательский эксперимент;
- интерпретировать полученные результаты;
- формулировать выводы.

**Регулятивные:**

- контролировать и оценивать результаты деятельности, вносить коррективы в их выполнение.

**Коммуникативные:**

- полно и точно выражать свои мысли, аргументировать собственную точку зрения, вступать в диалог;
- эффективно работать в паре и в группе при решении учебной задачи.

**Личностные:**

- развивать практические умения, связанные с получением и математической обработкой данных количественного химического эксперимента;



- проявлять познавательную активность в процессе проведения химического эксперимента, нацеленного на повторение и обобщение знаний о растворах и способах выражения их состава.

**Оборудование, программное обеспечение и расходные материалы:** интерактивная доска либо компьютер и мультимедийный проектор, электронные таблицы, калькуляторы, программное обеспечение *Releon Lite*, миллиметровая бумага, карандаши, линейки, датчики оптической плотности 525 нм и 470 нм, спектрофотометр, весы лабораторные, бюретка, автоматическая микропипетка переменного объёма на 100—1000 мкл, химические стаканы на 50—100 мл, промывалка, стандартный 1,00 М раствор сульфата меди (II), 5 М (или 10%) раствор аммиака.

### Ход урока

#### Этап урока 1. Организационный

Предполагаемая продолжительность: 1—2 мин.

Педагогическая деятельность учителя:

проверяет готовность к уроку, организует работу класса на уроке, создаёт положительный эмоциональный настрой у обучающихся.

Учебная деятельность обучающихся:

эмоционально настраиваются на предстоящую учебную деятельность.

#### Этап урока 2. Актуализация знаний

Предполагаемая продолжительность: 15 мин.

Педагогическая деятельность учителя:

проводит фронтальную беседу; актуализирует имеющиеся знания об электролитах; помогает выявить учебную проблему, основу для предстоящего экспериментального исследования; побуждает обучающихся к выдвижению гипотезы, формулировке целей, высказыванию предложений о способе и средствах их достижения.

*Работа с терминами и понятиями.*

Повторить и обобщить знания учащихся о растворах, способах выражения их состава, молярной концентрации.

*Описание проблемной ситуации.*

Окрашенные растворы поглощают свет. Причём поглощается свет определённой длины волны в зависимости от окраски раствора. Существует ли зависимость между интенсивностью этой окраски и содержанием (концентрацией) окрашенного вещества в этом растворе? Можно ли повысить чувствительность метода, если окраска определяемого вещества неяркая?

Используя спектрофотометр, получает спектры поглощения растворов, содержащих гидратированные ионы меди  $\text{Cu}^{2+}$  и аммиакаты меди  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$  (рис. 12). Иницирует обсуждение проблемы с использованием полученных графиков, которые демонстрируются на доску перед всем классом.

Учебная деятельность обучающихся:

отвечают на вопросы, высказывают свои предположения, предлагают и согласовывают с учителем тему и цель урока; предлагают способы и средства достижения цели.

*Предполагаемое объяснение проблемной ситуации.* Фотоколориметрические методы анализа основаны на измерении интенсивности светового потока, прошедшего через окрашенный раствор.

Продолжение

Существует зависимость между интенсивностью окраски раствора и содержанием в этом растворе окрашенного вещества. Эта зависимость — закон *Бугера – Ламберта – Бера*:

$$I = I_0 \cdot 10^{-\varepsilon Cl}, \quad (26)$$

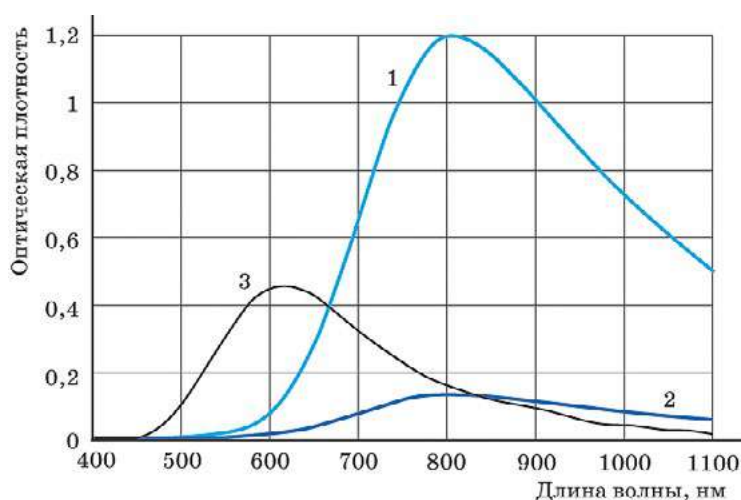
где  $I$  — интенсивность светового потока, прошедшего через раствор;  $I_0$  — интенсивность падающего на раствор светового потока;  $\varepsilon$  — коэффициент поглощения светового потока — постоянная величина, характерная для каждого окрашенного вещества и зависящая от его природы;  $C$  — концентрация окрашенного вещества в растворе;  $l$  — толщина слоя светопоглощающего раствора, см. Отношение интенсивности светового потока, прошедшего через раствор  $I$ , к интенсивности падающего на раствор светового потока  $I_0$  называется коэффициентом светопропускания  $T$  ( $T = \frac{I}{I_0}$ ).

Физический смысл этого закона можно выразить следующим образом: растворы одного и того же окрашенного вещества при одинаковой концентрации этого вещества и толщине слоя раствора поглощают равное количество световой энергии.

Окрашенный раствор поглощает различные длины волн света не в равной мере, поэтому для увеличения точности и чувствительности используют поглощение не всего белого света, а только тех лучей, которые наиболее сильно поглощаются раствором.

Для получения более точных результатов из видимой области спектра выделяют лучи той волны, которая максимально поглощается данным раствором, т. е. используют источники *монохроматического света*. В датчиках ЦЛ — это светодиоды с определённой длиной волны. В случае источников белого света используют *светофильтры*.

На рисунке 12 показаны спектры поглощения растворов сульфата меди (II) (кривые 1 и 2). Видно, что максимум поглощения находится в области 810 нм, что соответствует красному цвету излучения (на границе с инфракрасным). Длины волн датчиков оптической плотности, входящих в состав ЦЛ, составляют 525 нм (зелёный цвет излучения) и 470 нм (синий цвет). Как видно из представленных на рисунке 12 спектров, растворы, содержащие гидратированные ионы  $\text{Cu}^{2+}$ , практически не поглощают свет с данными длинами волн.



**Рис. 12.** Спектры поглощения растворов соединений меди: 1 — 0,091 М раствор  $\text{CuSO}_4$ , 2 — 0,010 М раствор  $\text{CuSO}_4$ , 3 — 0,010 М раствор  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ . Толщина кюветы — 10 мм

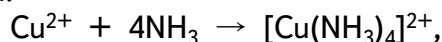




Продолжение

*Способ решения проблемы.*

Если определяемое вещество не окрашено или его окраска неяркая, то используют реагенты, дающие с ним яркие цветные соединения. Так, добавление раствора аммиака к раствору, содержащему гидратированные ионы  $\text{Cu}^{2+}$ , позволяет получить комплексные ионы, аммиакаты:



которые имеют более интенсивную окраску. Причём максимум поглощения приходится на световое излучение с длиной волны 618 нм (рис. 12), т. е. излучение оранжевого цвета. При 525 нм (зелёный цвет) поглощение составляет 43% от максимума, при 470 нм (синий цвет) — всего 6%. Таким образом, следует выбрать датчик с длиной волны 525 нм и фотометрировать растворы аммиакатов меди.

Для осмысления результатов, выдаваемых датчиком оптической плотности, и получения количественных характеристик исследуемых растворов следует ещё раз вернуться к уравнению (26). Если его прологарифмировать и изменить знаки на обратные, то получаем:

$$\lg\left(\frac{I_0}{I}\right) = \varepsilon Cl \quad (27)$$

Величина  $\lg\left(\frac{I_0}{I}\right)$  является очень важной характеристикой окрашенного раствора; её называют оптической плотностью раствора и обозначают буквой  $D$ :

$$D = \lg\left(\frac{I_0}{I}\right) = \varepsilon Cl \quad (28)$$

Из уравнения (28) вытекает, что оптическая плотность раствора прямо пропорциональна концентрации окрашенного вещества и толщине слоя раствора. Другими словами, при одинаковой толщине слоя раствора данного вещества оптическая плотность этого раствора будет тем больше, чем больше в нём содержится окрашенного вещества.

Для определения концентрации окрашенного вещества в исследуемом растворе строят калибровочный график в координатах «оптическая плотность раствора  $D$  — концентрация растворённого вещества  $C$ ». С этой целью пользуются серией эталонных (стандартных) растворов различной концентрации, измеряют их оптическую плотность и полученную зависимость аппроксимируют прямой. Затем измеряют оптическую плотность контрольной пробы и, используя калибровочный график, рассчитывают концентрацию вещества в растворе.

### Этап урока 3. Применение знаний в новой ситуации

Предполагаемая продолжительность: 25 мин.

Педагогическая деятельность учителя:

предлагает обучающимся экспериментально определить концентрацию катионов меди в выданном растворе колориметрическим методом.

Учитель корректирует выполнение экспериментального исследования рабочими группами. Предупреждает, что при выполнении работы следует соблюдать осторожность при обращении с растворами аммиака и сульфата меди (II).



Продолжение

Учебная деятельность обучающихся:

формируют рабочие группы по 2 человека, получают задание и оборудование. Выполняют экспериментальное исследование в парах, используя инструкцию (см. материалы для копирования), оформляют результаты измерений и расчёты в тетради или на специальных бланках. Готовят серию эталонных (стандартных) растворов, содержащих определённые количества ионов меди (II). С помощью датчиков измеряют их оптическую плотность, строят калибровочный график. Сравнивают результаты измерений, полученных для гидратированных ионов меди  $\text{Cu}^{2+}$  (аквакомплексов) и яркоокрашенных ионов  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$  (аминокомплексов). Сравнивают результаты, полученные с использованием разных датчиков оптической плотности: зелёный (525 нм) и синий (470 нм). Обобщают результаты всех рабочих групп, сравнивают значения концентрации ионов меди в выданных растворах.

**Этап урока 4. Обобщение и интерпретация полученных результатов, контроль усвоения, обсуждение допущенных ошибок и их коррекция**

Предполагаемая продолжительность: 10 мин.

Педагогическая деятельность учителя:

организует обсуждение результатов исследования. В ходе фронтальной беседы предлагает обучающимся объяснить наблюдаемую зависимость между интенсивностью окраски раствора и содержанием в этом растворе окрашенного вещества, используя знания о молярной концентрации вещества, оптической плотности.

Предлагает сформулировать обобщающие выводы о методах определения концентрации веществ методами фотоколориметрии.

Помогает выяснить причины допущенных инструментальных или статистических ошибок, определить пути их исправления. В заключение задаёт контрольные вопросы (см. материалы для копирования).

Учебная деятельность обучающихся:

объясняют зависимость оптической плотности стандартных растворов, ход калибровочного графика. Обсуждают результаты измерений, полученные для гидратированных ионов меди и аммиакатов меди с использованием разных датчиков оптической плотности. По калибровочному графику определяют концентрацию ионов  $\text{Cu}^{2+}$  в контрольной задаче, сравнивают точность измерений.

Формулируют выводы, отвечают на контрольные вопросы.

**Этап урока 5. Информация о домашнем задании и рефлексия**

Предполагаемая продолжительность: 6—7 мин.

Педагогическая деятельность учителя:

информирует о домашнем задании, даёт комментарий по его выполнению; раздаёт анкету рефлексии к уроку и предлагает рассчитать «Индивидуальный индекс качества урока»; подводит рефлексивную статистику урока по количеству учеников, у которых индекс качества выше значения 5; демонстрирует запись проблемы и цели урока, спрашивает: «Как вы думаете, решена ли проблема, достигнута ли цель?» Если проблема не решена и цель не достигнута, предлагает объяснение и задаёт в дополнение к домашнему заданию подумать над причинами этого.



Продолжение

Учебная деятельность обучающихся:

задают уточняющие вопросы о выполнении домашнего задания; рассчитывают индивидуальный индекс качества урока; определяют степень соответствия поставленной цели и результатов деятельности; степень своего продвижения к цели; высказывают оценочные суждения и соотносят результаты своей деятельности с целью урока.

### Материалы подготовки к уроку

#### Инструкция к экспериментальному исследованию

«Фотокolorиметрическое определение концентрации ионов меди  $\text{Cu}^{2+}$  в растворе»

1) Для определения концентрации окрашенного вещества в исследуемом растворе фотокolorиметрическим методом сначала необходимо построить калибровочный график. Для этого следует приготовить серию эталонных растворов, содержащих разные количества определяемого вещества.

Сначала готовят стандартный раствор, содержащий строго определённое количество исследуемого вещества. Для этого на весах отмеряют навеску пятиводного кристаллогидрата сульфата меди (II), необходимую для приготовления 100 мл 0,1 М раствора  $\text{CuSO}_4$ . Навеску аккуратно переносят в мерную колбу и приливают 30—50 мл дистиллированной воды. После полного растворения соли доводят объём раствора водой до метки 100 мл, закрывают пробкой и хорошо перемешивают.

Масса навески  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  равна \_\_\_\_\_ г.

С помощью бюретки и мерной колбы готовят растворы с определённой концентрацией  $\text{CuSO}_4$  в соответствии с таблицей 1. Стандартные растворы аммиаков готовят, добавляя к стандартному раствору сульфата меди (II) 10%-ый раствор аммиака.

### Зависимость оптической плотности раствора $D$ от концентрации гидратированных ионов меди и аммиаков $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$

Концентрация $\text{CuSO}_4$ в эталонном растворе $C$ , моль/л	Объём 0,1 М стандартного раствора, необходимый для приготовления 100 мл эталонного раствора с заданной концентрацией, мл	Оптическая плотность раствора $D$			
		гидратированные ионы $\text{Cu}^{2+}$		аммиаки $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$	
		525 нм	470 нм	525 нм	470 нм
0,1					
0,05					
0,02					
0,01					
0,005					

Возьмите кювету и налейте в неё дистиллированную воду. Будьте аккуратны! Беритесь руками только за боковые грани, которые не будут пересекаться световым потоком в фотокolorиметре. В противном случае потожировые отпечатки пальцев на стенках кюветы существенно исказят результаты измерений. Вставьте кювету с водой в гнездо фотокolorиметра. Датчик должен показывать значение оптической плотности  $D$ , равное 0. В случае необходимости датчик следует откалибровать.

Выньте кювету, вылейте воду так, чтобы на стенках не оставалось капелек. Поочерёдно измерьте оптическую плотность всех приготовленных растворов. Занесите результаты



вычислений в таблицу и на миллиметровой бумаге постройте калибровочный график зависимости  $D$  от концентрации  $\text{Cu}^{2+}$ . Он должен представлять собой прямую линию. Если какая-то точка выпадает, то для неё следует повторить измерение оптической плотности.

2) *Определение концентрации растворённого вещества в контрольной пробе*

Сполосните кювету и залейте в неё контрольный раствор с неизвестной концентрацией растворённого вещества. Измерьте оптическую плотность данного раствора и по графику определите, какой концентрации соответствует полученное значение. Отметьте данную точку на калибровочном графике.

В выводе укажите концентрацию вещества в контрольной пробе.

*Контрольные вопросы*

1. Какие частицы придают исследуемому раствору окраску?
2. С какой целью гидратированные ионы меди переводили в аммиакат меди  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ ?
3. Как изменятся результаты измерений, если вместо датчика с зелёным светом взять датчики с оранжевым, красным светом? Почему?

*Литература*

1. Ельяшевич М. А. Атомная и молекулярная спектроскопия: общие вопросы спектроскопии. М.: Либроком, 2017.
2. Жуков А. Ф., Колосова И. Ф., Кузнецов В. В. и др. Аналитическая химия. Физические и физико-химические методы анализа: учеб. для вузов / под ред. О. М. Петрухина. М.: Химия, 2001. С. 120—147.
3. Лунин В. В., Дроздов А. А., Кузьменко Н. Е., Еремин В. В. Химия. 11 класс: учеб.: углубл. уровень. ФГОС. М.: Дрофа, 2020.
4. Энциклопедия для детей. Том 17. Химия. М.: Аванта+, 2000. С 155—164.

## ПОМОЩЬ УЧИТЕЛЮ

### Методические комментарии

Данное экспериментальное исследование с применением фотоколориметрического метода количественного анализа рассчитано на 1 академический час. Предлагаемый вариант учебной деятельности позволяет одиннадцатиклассникам повторить и обобщить знания, которые они приобрели при изучении темы «Растворы. Способы выражения состава растворов», реализовать возможности межпредметных связей химии и физики с темами «Оптика», «Излучение и спектры».

Для увеличения учебного времени, отводимого для осмысления обобщаемых знаний, целесообразно поручить приготовление эталонных растворов отдельным рабочим группам (рабочим парам). А затем представить обобщённые результаты в виде калибровочного графика в координатах «оптическая плотность раствора — концентрация ионов меди» на доске перед всем классом. Точки, полученные всеми группами, должны лечь на одну прямую — калибровочный график. На следующем этапе определения концентрации ионов меди в выданном растворе участники всех рабочих групп могут пользоваться общим калибровочным графиком.

### Задания к уроку

1. *Задание на развитие функциональной грамотности*

В школьную лабораторию для исследования поступил образец латуни. Латунь — это сплав на основе меди, где основным легирующим элементом является цинк. В случае двухкомпонентных систем латуни часто маркируются буквой Л, за которой следует число,

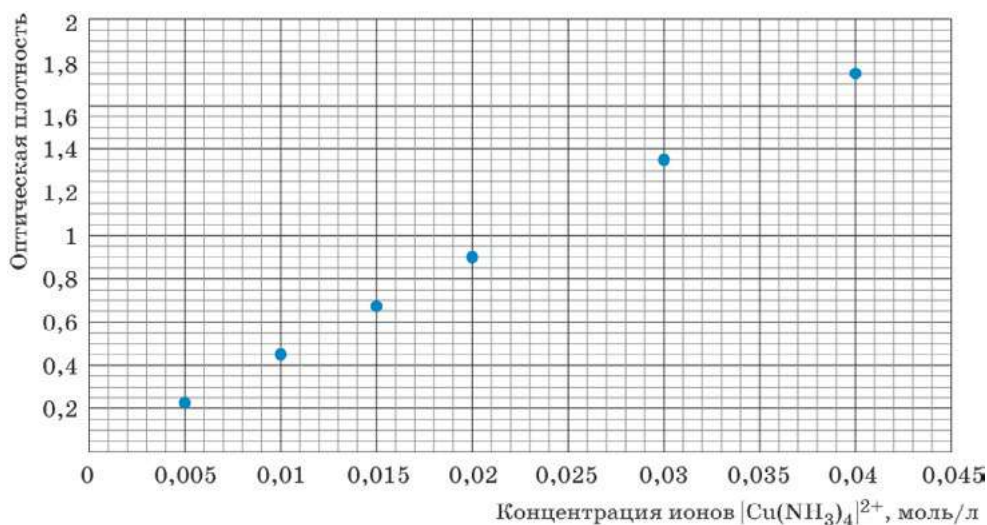


показывающее содержание меди в процентах, например в латуни Л62 содержится 62% меди и 38% цинка по массе.

Образец представлял собой куб, масса которого 30,0 г. Из образца отделили пробу массой 40,0 мг, которую полностью растворили в концентрированной азотной кислоте. Затем добавили избыток раствора аммиака и довели объём смеси до 50 мл. Оптическая плотность полученного раствора в кювете толщиной 10 мм при 618 нм составила 0,51.

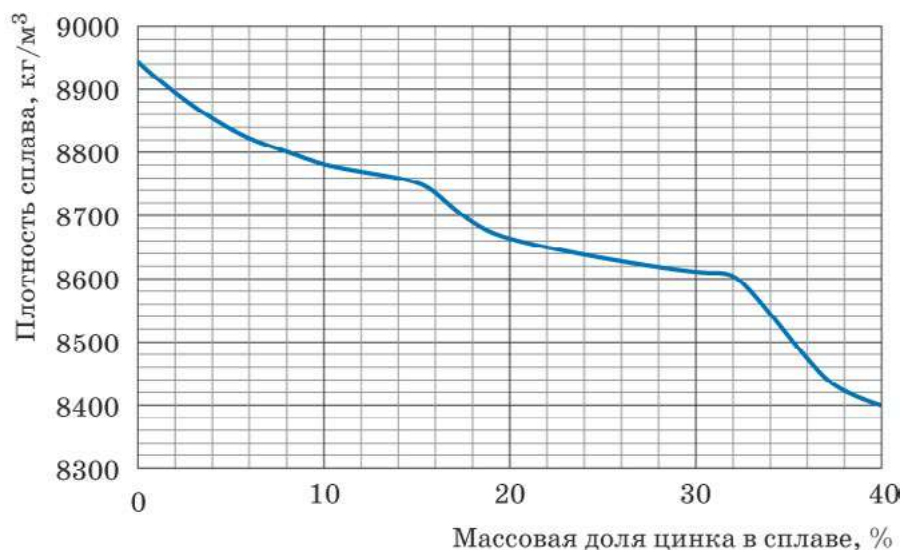
1) Напишите уравнения реакций, которые протекали при растворении исследуемого образца латуни в концентрированной азотной кислоте.

2) Определите массовую долю меди в исследуемом образце, используя экспериментальные данные, представленные на рисунке 13. Какую маркировку будет иметь данный образец латуни (сплав считать двухкомпонентным)?



**Рис. 13.** Зависимость оптической плотности раствора от концентрации ионов  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ , экспериментальные данные. Толщина кюветы — 10 мм, длина волны — 618 нм

3) На рисунке 14 показана зависимость плотности латуни от содержания цинка. Определите плотность исследуемого образца сплава, рассчитайте его объём и длину ребра куба.



**Рис. 14.** Зависимость плотности двухкомпонентных сплавов (медь + цинк) от массовой доли цинка



Решение:



На основании экспериментальных данных, представленных на рисунке 13, построим калибровочный график, проведём прямую через точки. Нанесём точку, соответствующую оптической плотности 0,51 (рис. 15, показана оранжевым цветом).

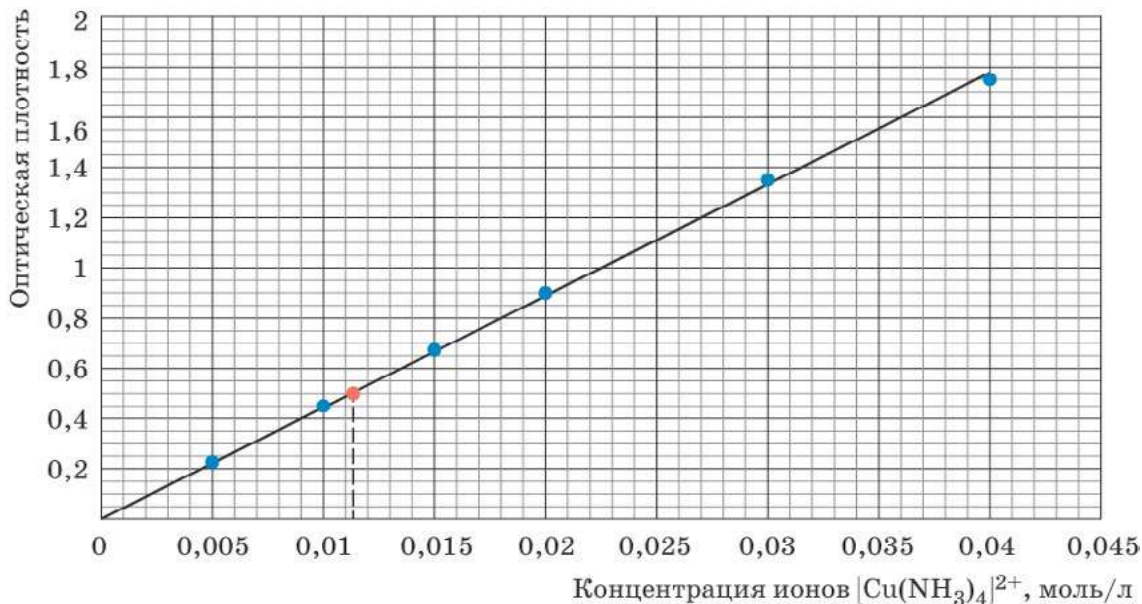


Рис. 15. Калибровочный график для определения концентрации ионов меди

Из калибровочного графика, приведённого на рисунке 15, видно, что оптической плотности 0,51 соответствует раствор с концентрацией ионов  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+} \sim 0,0113$  моль/л. Рассчитаем, какая масса меди перешла в раствор при обработке пробы азотной кислотой:

$$m_{\text{Cu}} = 0,0113 \frac{\text{моль}}{\text{л}} \cdot 0,05 \text{ л} \cdot 63,546 \frac{\text{г}}{\text{моль}} \approx 0,036 \text{ г} = 36 \text{ мг},$$

где 0,05 л — объём раствора, в котором содержится отобранная проба; 63,546 г/моль — молярная масса меди. Отсюда массовая доля меди в сплаве:

$$\omega_{\text{Cu}} = \frac{36 \text{ мг}}{40 \text{ мг}} = 90\%$$

Марка данной латуни — Л90.

В. Исследуемый сплав содержит 90% меди и 10% цинка по массе. По графику на рисунке 14 находим плотность данной марки латуни, она составляет  $\sim 8800 \text{ кг/м}^3$ . Объём латунного куба:

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{40 \text{ г}}{8,8 \text{ г/см}^3} \approx 4,55 \text{ см}^3.$$

Соответственно ребро куба  $a$ :

$$a = \sqrt[3]{4,55 \text{ см}^3} \approx 1,66 \text{ см}.$$



## 2. Задание для подготовки к ГИА, ВПР

1) Кристаллогидрат сульфата меди ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) массой 5 г растворили в воде количеством вещества 5 моль. Рассчитайте массовую долю соли в полученном растворе. Ответ выразите в процентах и округлите до сотых.

Ответ: 3,37%.

2) В 100 мл воды растворили 20 г пентагидрата сульфата меди (II). Рассчитайте массовую долю безводной соли в полученном растворе. Ответ выразите в процентах и округлите до десятых.

Ответ: 10,7%.

3) Из медного купороса ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) приготовили 110 г раствора, в котором соотношение между числом атомов водорода и кислорода равно 20 : 11. Определите массу навески (в граммах) медного купороса, необходимую для получения данного раствора? Ответ округлите до целых.

Ответ: 31 г.

4) Какую массу железного купороса  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  и воды надо взять для приготовления 1 кг 7,6% -го раствора сульфата железа (II)?

Ответ: 139 г  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  и 861 г  $\text{H}_2\text{O}$ .

### *Темы возможных проектных и исследовательских работ*

1. Фотоколориметрический метод в экспресс-оценке качества питьевой воды.
2. Самодельный фотоколориметр, оценка его технических характеристик.
3. Применение методов спектрофотометрии в изучении кинетики ферментативных реакций.
4. Фотометрическое определение основных элементов минерального питания растений в почвенной вытяжке и гидропонных растворах.
5. Фотоколориметрические методы анализа состояния воды в аквариуме.

## Лабораторные работы и практические занятия

### Методы научного познания

#### Лабораторный опыт:

#### «Экспериментальная проверка гипотезы

#### «Определение содержания карбоната кальция в различных объектах»

Описание лабораторного опыта можно найти в разделе «Формы контроля».

#### Практическое занятие:

#### «Определение качественного состава органического вещества»

#### Теоретическое введение

Данная работа нацелена на обучение старшеклассников методам научного познания, она предваряет системное изучение основ органической химии, способствует формированию у них научного мировоззрения. В процессе выполнения экспериментального исследования у школьников формируются представления о качественном анализе, экспериментальных методах доказательства или опровержения выдвинутых предположений.

Для качественного определения элементов, входящих в состав органических веществ, их необходимо предварительно перевести в неорганические соединения, для дальнейшего исследования которых применяют методы обычного качественного анализа. Например, специальными методами углерод переводят в углекислый газ, водород — в воду,



азот — в цианид натрия, серу — в сульфид натрия и т. д. В рамках данного практического занятия рассматривается определение только углерода, водорода и хлора.

При прокаливании органического галогеносодержащего вещества с оксидом меди (II) происходит его окисление. Углерод переходит в оксид углерода (IV), водород — в воду, галогены (кроме фтора) — в летучие галогениды меди (II), окрашивающие пламя в ярко-зелёный цвет (проба Бейльштейна<sup>1</sup>). Реакция высокочувствительна. Однако её нельзя использовать для обнаружения галогенов в азотсодержащих соединениях, так как они тоже окрашивают пламя. Пробу Бейльштейна ранее использовали при проверке подлинности галогеносодержащих лекарственных средств.

### Практическая часть

**Цель работы:** научиться проводить реакции, которые позволяют экспериментально доказать наличие атомов углерода, водорода и хлора в исследуемом органическом соединении.

**Оборудование и реактивы:** датчик температуры термодатчик, спиртовка, пробирки, пробка с газоотводной трубкой, шпатель, медная проволока; известковая вода (насыщенный раствор гидроксида кальция), сульфат меди (II) безводный; фильтровальная бумага, сахар, кусочек картофельных чипсов (или кукурузных хлопьев), небольшой комочек светлой шерсти, кусочек линолеума, кусочек пластикового стакана.

#### *Техника безопасности*

1. Работа связана с открытым пламенем — берегитесь ожога.
2. Термопара после извлечения из пламени остывает не сразу — берегитесь ожога.
3. В спиртовке содержится горючая жидкость.
4. Опыты, сопровождающиеся выделением газообразных веществ с резким запахом, проводить в вытяжном шкафу.

#### *Инструкция*

#### **Опыт 1.** Определение углерода пробой на обугливание

Присутствие углерода во многих органических веществах можно обнаружить по обугливанию вещества при осторожном его прокаливании. В пробирку поместите несколько кристаллов сахара и осторожно нагрейте. Что происходит при нагревании? Что доказывает образование массы чёрного цвета?

Повторите опыт с чипсами, кукурузными хлопьями, шерстью, кусочком фильтровальной бумаги. Установите экспериментально, при какой температуре исследуемые вещества начинают обугливаться. Для этого используйте высокотемпературный датчик (термопару). Закрепите датчик в пробирке так, чтобы его кончик касался исследуемого вещества. Результаты измерений занесите в таблицу.

### **Определение температуры обугливания органических веществ**

Исследуемый объект	Изменения, происходящие с исследуемым образцом	Температура начала обугливания, °С

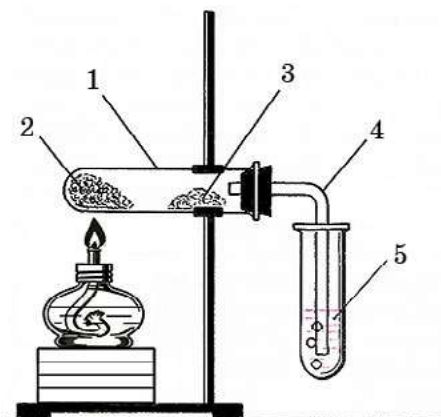
Сформулируйте выводы. Укажите, что доказывает проба на обугливание. Какие вещества входят в состав исследуемых объектов? При какой температуре они начинают обугливаться?

<sup>1</sup> Бейльштейн Фёдор Фёдорович — русский химик-органик, родился в Петербурге в 1838 г., с 1886 г. — ординарный академик Петербургской АН.



**Опыт 2. Окисление парафина оксидом меди (II)**

Проба на обугливание является вспомогательным методом определения углерода в исследуемом веществе. Некоторые органические вещества, например, этиловый спирт, уксусная кислота, при нагревании испаряются раньше, чем успевают обуглиться; другие, например, мочевины, фталевая кислота, возгоняются. Наиболее общим методом открытия углерода и одновременно с ним водорода является окисление органического вещества оксидом меди (II).



В пробирку с небольшим количеством парафина (~ 0,2 г) поместите около 1 г порошка оксида меди (II). Нефтепродукт должен пропитать оксид меди, для этого пробирку с парафином следует слегка прогреть, чтобы он расплавился.

Придав пробирке горизонтальное положение, внесите в неё немного обезвоженного сульфата меди (II) и закройте пробкой с газоотводной трубкой так, чтобы порошок  $\text{CuSO}_4$  находился возле пробки (см. рис.). Конец газоотводной трубки опустите в пробирку с известковой водой. Несильно нагрейте смесь веществ.

*Контрольные вопросы*

1. Что образуется на внутренних стенках пробирки-реактора? Какие изменения происходят с оксидом меди, сульфатом меди и известковой водой?
2. Какой вывод можно сделать о качественном составе взятого для исследования нефтепродукта (парафина) на основании проведённого опыта?
3. Как вы понимаете следующие словосочетания: «качественное определение», «качественный состав»? Какое значение имеет прилагательное «качественный» в данном контексте?
4. Какова цель данного эксперимента?
5. Предположим, что в состав парафина входит предельный углеводород (алкан), содержащий 20 атомов углерода. Составьте уравнение реакции его полного окисления оксидом меди (II). Укажите, атомы какого элемента являются окислителями, а какого — восстановителями.
6. Составьте уравнение реакции полного окисления алкана  $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$  оксидом меди (II) в общем виде.
7. Какую роль в данном эксперименте играют безводный сульфат меди (II) и гидроксид кальция? Напишите уравнения реакций, которые протекали с указанными веществами.
8. Пробирка с исходными веществами должна быть закреплена в штативе горизонтально или с небольшим наклоном в сторону отверстия. Почему?
9. Представьте, что вы провели аналогичный опыт, исследуя качественный состав неизвестного жидкого вещества. Продукты окисления — два бесцветных газа, каждый из которых вызывал помутнение известковой воды. Один газ был без запаха и не обесцвечивал известковую воду.



чивал раствор перманганата калия. Второй, напротив, обладал резким запахом и обесцвечивал водный раствор  $\text{KMnO}_4$ . Безводный сульфат меди в присутствии продуктов реакции окраски не изменил. Какие элементы могли входить в состав исследуемого вещества? Какие продукты образовались в результате его окисления?

### Опыт 3. Определение хлора по окраске пламени

На конце медной проволоки сделайте петлю или небольшую спираль, наматывая проволоку, например, на корпус ручки. Чтобы не обжечься, медную проволоку можно зажать тигельными щипцами. Петлю нагрейте в пламени до красного каления, при этом пламя не должно окрашиваться. Если пламя приобретает окраску, прокалывание проволоки продолжите. Затем петлёй прикоснитесь к исследуемому веществу, а затем снова введите в пламя. Что наблюдается, если в состав исследуемого вещества входит хлор?

Вам выданы образцы двух пластмасс под номерами 1 и 2, кусочки линолеума и пластикового стаканчика для напитков. Одна пластмасса — поливинилхлорид, другая — полипропилен. С помощью пробы Бейльштейна определите каждый образец. Обоснуйте свой вывод, приведите формулы исследуемых веществ.

#### Контрольные вопросы

1. Какова цель данного эксперимента?
2. Объясните химизм пробы Бейльштейна. Почему с помощью данной пробы нельзя определить наличие фтора в органическом веществе?

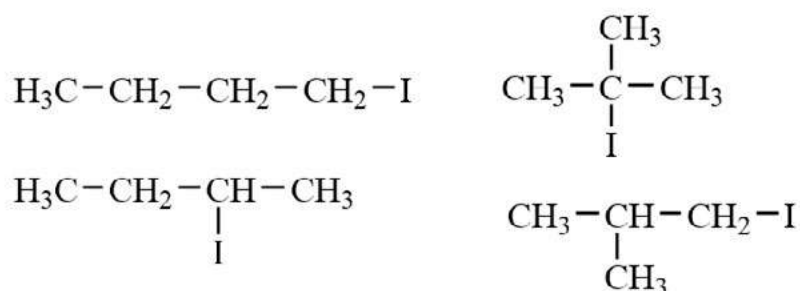
#### 3. Задания для подготовки к ГИА, ВПР

1) Для сжигания 3 л газообразного углеводорода потребовалось 15 л кислорода, при этом образовалось 9 л оксида углерода (IV) и некоторое количество воды. Установите молекулярную формулу углеводорода.

Ответ:  $\text{C}_3\text{H}_8$ .

2) Моноиодпроизводное алкана содержит 69,0% иода по массе. Составьте формулы возможных изомеров, удовлетворяющих условию.

Ответ:  $\text{C}_4\text{H}_9\text{I}$ .



#### 4. Задание для развития функциональной грамотности

На сегодняшний день в производстве изделий лёгкой промышленности различного назначения находят широкое применение искусственные кожи. Современные технологии позволяют создавать искусственные кожи, обладающие рядом специальных качеств: морозо- и жароустойчивые, водостойкие, антистатические, огнеупорные, маслобензостойкие и другие виды кожи.

Особенно широкое распространение для изготовления верхней одежды получили искусственные кожи с пористым поливинилхлоридным (ПВХ) покрытием, представляющие собой трикотажную, тканевую или нетканую основу с нанесённым на неё слоем пористого поливинилхлорида толщиной 0,5—0,7 мм или непористого — толщиной 0,10—0,15 мм.



Из книги Андрианова Г. А., Полякова К. А. и др. Технология переработки пластических масс и эластомеров в производстве полимерных пленочных материалов и искусственной кожи. В 2-х частях. М.: Колосс, 2009.

Предложите относительно простой способ, который позволил бы отличить натуральную кожу от искусственной, содержащей ПВХ.

Ответ. Можно воспользоваться пробой Бейльштейна.

### Органическая химия

#### Лабораторный опыт:

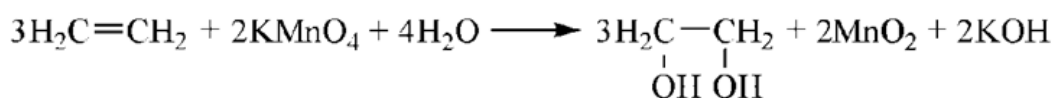
#### «Взаимодействие этилена с раствором перманганата калия»

##### Теоретическое введение

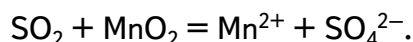
При проведении практического занятия «Получение этилена и изучение его свойств» обучающиеся проводят внутримолекулярную дегидратацию этанола в присутствии концентрированной серной кислоты. Наблюдают выделение газа — этилена, экспериментально доказывают принадлежность этилена к непредельным соединениям. Для этого пропускают  $C_2H_4$  через бромную воду и раствор перманганата калия.

При пропускании этилена через холодный нейтральный раствор перманганата калия (реакция Вагнера<sup>1</sup>) должен выпасть осадок оксида марганца (IV) бурого цвета, однако в условиях опыта образование осадка не наблюдается, смесь полностью обесцвечивается. Учитель предлагает школьникам рассмотреть возможное объяснение данного факта, составить соответствующие уравнения реакций. Если ученики испытывают затруднения при выдвигании возможного объяснения, учитель обращает их внимание на изменение цвета реакционной смеси спирта и концентрированной серной кислоты, реакционная смесь чернеет. Предлагает исследовать запах этой смеси после того, как она полностью остынет; с помощью датчика pH определить среду после пропускания этилена в раствор перманганата калия.

При пропускании смеси газов (этилена и сернистого газа) через раствор перманганата калия происходит образование сернистой кислоты, раствор становится кислым. Это одна из причин того, что ученики в ходе данного опыта не наблюдают выпадения осадка бурого цвета оксида марганца (IV)  $MnO_2$ , который должен образовываться в нейтральной среде (реакция Вагнера):



Избыток кислоты приводит к тому, что перманганат-ион  $MnO_4^-$  восстанавливается не до  $MnO_2$ , а до  $Mn^{2+}$ , т. е. раствор полностью обесцвечивается, осадок не выпадает:



Чтобы избежать этого, для опыта нужно брать концентрированную ортофосфорную кислоту или более разбавленную серную кислоту. Ортофосфорная кислота, по сравнению с концентрированной серной кислотой, не обладает сильными окислительными свойствами. В этом случае выделяющийся этилен не загрязнён сернистым газом.

Второй вариант проверки выдвинутой гипотезы — пропустить выделяющуюся смесь (этилен, загрязнённый сернистым газом) через раствор щелочи. Этилен с растворами

<sup>1</sup> Вагнер Егор Егорович (27.11(9.12).1849, Казань — 14(27).11.1903, Варшава) — русский химик-органик. В 1874 г. окончил Казанский университет. Разработал (1888) общий способ окисления этиленовых связей перманганатом и один из важных приёмов исследования строения соединений, содержащих кратные связи.



щелочей не реагирует, а сернистый газ поглощается. Очищенный этилен реагирует с раствором перманганата калия с образованием осадка  $MnO_2$ , датчик pH регистрирует образование щелочи в растворе.

### Практическая часть

*Цель опыта:* изучить окисление этилена холодным нейтральным раствором перманганата калия, реакцию Вагнера.

*Оборудование и материалы:* комбинированный стеклянный электрод (датчик pH); стакан на 50 мл; штатив с зажимом; промывалка; спиртовка; пробирка с газоотводной трубкой; дистиллированная вода; смесь этилового спирта и конц. серной кислоты (1 : 3); смесь этилового спирта и конц. фосфорной кислоты (1:3); 20 мл 0,1%-го раствора перманганата калия (нейтрального); 10%-ый раствор гидроксида натрия.

### *Инструкция*

В стакан налейте 20 мл раствора перманганата калия. Опустите комбинированный стеклянный электрод, закрепленный в лапке штатива. Наблюдайте за изменением значения pH. Когда показания pH перестанут изменяться, запишите значение pH в тетрадь.

Стеклянный электрод тщательно промойте водой.

Пробирку с кислотой и спиртом закройте пробкой с газоотводной трубкой и закрепите в лапке штатива. Газоотводную трубку опустите в стакан с раствором перманганата калия. Осторожно нагревайте пробирку. Следите за изменением окраски раствора перманганата калия. Когда малиновая окраска раствора станет незаметной, извлеките газоотводную трубку из стакана и прекратите нагревание.

В полученный раствор опустите стеклянный электрод. Когда показания pH перестанут изменяться, запишите значение pH в тетрадь.

Составьте уравнение реакции этилена с холодным нейтральным раствором перманганата калия. Что должно наблюдаться в процессе реакции? Как должна изменяться среда в растворе при взаимодействии этилена с раствором  $KMnO_4$ ? Предложите возможное объяснение наблюдаемым изменениям. Как можно экспериментально проверить ваше предположение? Осуществите проверку выдвинутого предположения на практике.

### *Контрольные вопросы*

1. Как изменяется pH раствора перманганата калия после пропускания через него этилена?

2. Какую окраску имеет конечный раствор? Какое вещество выпадает в осадок?

3. Более простой и экологически чистый вариант получения этилена основан на пропускании паров этилового спирта над нагретым твердым катализатором — оксидом алюминия. Предложите устройство прибора для осуществления данной реакции в школьной лаборатории, нарисуйте его и сделайте необходимые подписи. В данных условиях кроме этилена может получаться и бутadiен. Составьте соответствующие уравнения реакций.

### *Задания для подготовки к ГИА, ВПР*

1. С какими из перечисленных веществ реагирует этилен?

- 1) раствор перманганата калия
- 2) раствор гидроксида калия
- 3) бромная вода
- 4) водный раствор углекислого газа
- 5) раствор гидрокарбоната натрия

Ответ: 1, 3.





### Контрольные вопросы

1. Как И. Бехер впервые получил этилен? Составьте уравнение реакции. Какую роль в этой реакции играет купоросное масло?
2. Что такое «масло голландских химиков»? Составьте уравнение реакции его получения из этилена.
3. Как можно снова получить «маслородный» газ из «масла голландских химиков»? Ответ подтвердите уравнением реакции.
4. Какие вещества называют олефинами? Почему? Как их называют по современной международной номенклатуре?
5. Как А. М. Бутлеров установил строение молекулы этилена? Составьте уравнение реакции, если известно, что одним из продуктов является иодид меди (I)  $\text{CuI}$ .
6. Почему этилен плохо растворяется в воде? Что можно сказать о растворимости в воде его гомологов? Какие растворители наилучшим образом подойдут для алкенов? Ответ обоснуйте.
7. Рассчитайте массовую долю этилена в его насыщенном водном растворе при  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
8. Почему этилен горит коптящим пламенем? Рассчитайте массовую долю углерода в этилене, этане и метане. Сравните полученные значения.
9. Какова объёмная доля этилена в его смеси с а) кислородом, б) воздухом, если известно, что газы смешаны в стехиометрическом отношении? Попадает ли рассчитанное вами значение в тот диапазон, который обозначен в тексте выше?

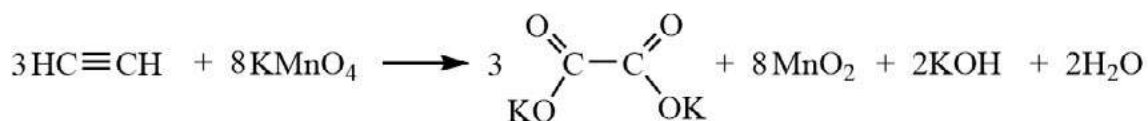
### Лабораторный опыт:

#### «Взаимодействие ацетилена с раствором перманганата калия»

##### Теоретическое введение

Обычно в школе ацетилен получают гидролизом карбида кальция. Реакция  $\text{CaC}_2$  с водой идёт очень энергично. Чтобы ацетилен выделялся спокойно и равномерно, к карбиду кальция приливают не чистую воду, а насыщенный раствор хлорида натрия.

При окислении ацетилена горячим раствором перманганата калия в кислой среде преимущественно образуется углекислый газ. В нейтральной среде могут образоваться различные продукты окисления, например муравьиная кислота, её соли, формиаты. При окислении холодным раствором перманганата калия в нейтральной и щелочной средах образуются преимущественно соли щавелевой кислоты, оксалаты. Обычно в школьных учебниках<sup>1</sup> приводится следующее уравнение реакции:



Из уравнения реакции видно, что в процессе реакции pH раствора должен повышаться по мере образования щелочи. Данный факт имеет смысл установить экспериментально.

##### Практическая часть

**Цель опыта:** изучить окисление ацетилена холодным нейтральным раствором перманганата калия, реакцию Вагнера.

<sup>1</sup> Ерёмин В. В., Кузьменко Н. Е., Теренин В. И., Дроздов А. А., Лунин В. В. Химия. 10 класс. Углублённый уровень: учебник. М.: Дрофа, 2016. С. 189. Пузаков С. А., Машнина Н. В., Попков В. А. Химия. 10 класс: учеб. для общеобразоват. организаций: углубл. уровень. М.: Просвещение, 2021. С. 75.



**Оборудование и материалы:** комбинированный стеклянный электрод (датчик рН); стакан на 50 мл; штатив с зажимом; промывалка; пробирка с газоотводной трубкой; дистиллированная вода; 1 г карбида кальция; 20 мл 0,1%-го раствора перманганата калия (нейтрального).

**Инструкция**

В стакан налейте 20 мл раствора перманганата калия. Опустите комбинированный стеклянный электрод, закреплённый в лапке штатива. Наблюдайте за изменением значения рН. Когда показания рН перестанут изменяться, запишите значение рН в тетрадь.

Стеклянный электрод тщательно промойте водой.

В пробирку осторожно опустите кусочек карбида кальция, прилейте 4—5 мл воды, быстро закройте пробкой с газоотводной трубкой. Конец трубки опустите в стакан с раствором перманганата калия. Когда малиновая окраска раствора станет незаметной, извлеките газоотводную трубку из стакана.

В полученный раствор опустите стеклянный электрод. Когда показания рН перестанут изменяться, запишите значение рН в тетрадь.

**Контрольные вопросы:**

1. Как изменяется рН раствора перманганата калия после пропускания через него ацетилена?

2. Какую окраску имеет конечный раствор? Какое вещество выпадает в осадок?

3. Составьте уравнение реакции окисления ацетилена раствором перманганата калия, учитывая, что ацетилен в данных условиях окисляется в щавелевую кислоту, которая в щелочной среде превращается в соль, в оксалат калия.

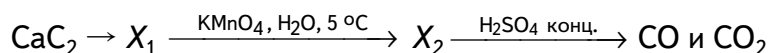
**Задания для подготовки к ГИА, ВПР**

1. Какие из перечисленных веществ обесцвечивают раствор перманганата калия?

- 1) бензол
- 2) гексан
- 3) ацетилен
- 4) стирол
- 5) циклогексан

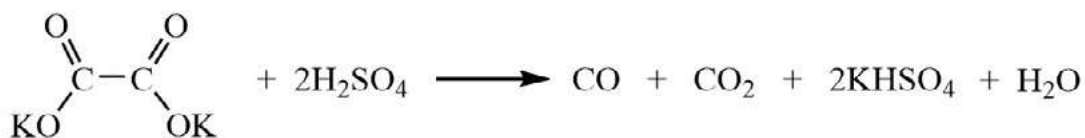
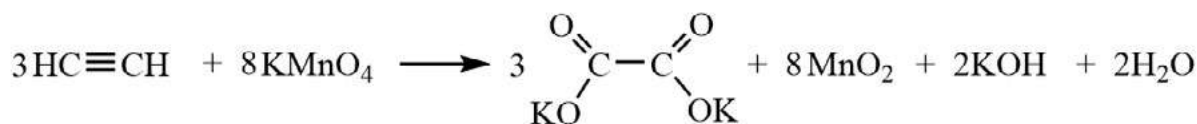
Ответ: 3, 4.

2. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить следующие превращения:



При написании уравнений реакций указывайте преимущественно образующиеся продукты, используйте структурные формулы органических веществ.

Ответ:





### Задание для развития функциональной грамотности

#### «Открытие на мусорной куче»

В 1862 году немецкий учёный Фридрих Вёлер попытался получить чистый кальций спеканием его оксида с углём. В результате получил серую массу, которая, по мнению Ф. Вёлера, ни на что не была пригодна. И он выбросил её на мусорную свалку. Каково же было его удивление, когда под дождём из мусорной кучи начал выделяться газ, сгорающий коптящим пламенем. Так было сделано открытие ацетилена, которое в истории химии именуют «открытием на мусорной куче». (По Э. Е. Нифантьеву<sup>1</sup>)

#### Контрольные вопросы

1. Об открытии какого газа идёт речь в условии задачи?
2. Напишите уравнения реакций:
  - 1) спекания оксида кальция с углём;
  - 2) полученного вещества с водой;
  - 3) полного сгорания выделяющегося газа.
3. Объясните, почему выделяющийся газ на воздухе горит сильно коптящим пламенем.

#### Практическое занятие:

#### «Исследование физических свойств спиртов»

##### Теоретическое введение

Данное занятие в форме исследовательского эксперимента позволяет изучить зависимость свойств веществ от их состава и строения. Обучающимся предлагается экспериментально установить факт повышения температуры кипения спиртов по мере увеличения длины углеродной цепи, сравнить температуры кипения изомерных спиртов, выявить влияние межмолекулярных водородных связей на свойства веществ. Занятие включает три опыта.

Для проведения данного практического занятия нужно использовать песчаную баню, входящую в комплект оборудования «Школьного кванториума».

При проведении первого опыта температуры кипения этанола (78,4 °С) и пропанола-1 (97,4 °С) измеряют с помощью терморезисторного датчика, а температуру кипения бутанола-1 (117,4 °С) — термодатчиком, так как её значение выходит за рамки рабочего диапазона терморезисторного датчика.

При проведении второго опыта исследуются свойства диэтилового эфира, бутилового и изобутилового спиртов, которые являются изомерами с одинаковой молекулярной формулой C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>O. Данный эксперимент демонстрирует влияние наличия водородных связей между молекулами спиртов и степень разветвления углеродного скелета на температуру кипения вещества ( таблица).

#### Температуры кипения некоторых изомерных соединений

Вещество	Формула строения	Температура кипения, °С
диэтиловый эфир	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	34,5
бутиловый спирт	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$	117,4
изобутиловый спирт	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ \diagdown \\ \text{CH}-\text{CH}_2-\text{OH} \\ \diagup \\ \text{H}_3\text{C} \end{array}$	108,1

<sup>1</sup> Нифантьев Э. Е. Органическая химия. 11(10) класс: учеб. для общеобразовательных учреждений. М.: Мнемозина, 2007. С. 72.





В целях экономии учебного времени предварительно воду в водяной бане нагревают почти до кипения, а песок в песчаной бане — до 150—160 °С. На водяной бане нагревают диэтиловый эфир, а на песчаной — изомерные бутиловые спирты. Температуру кипения диэтилового эфира определяют с помощью терморезисторного датчика, а бутиловых спиртов — с помощью термопарного датчика.

Третий опыт демонстрирует зависимость свойств веществ от их строения, иллюстрирует влияние водородных связей на силу притяжения между молекулами. Испарение — переход вещества из жидкого состояния в газообразное — эндотермический процесс, сопровождается поглощением теплоты. Чем слабее связаны между собой молекулы, тем легче вещество испаряется, тем сильнее понижается температура при его испарении.

Диэтиловый эфир и бутанол-1 являются изомерами с одинаковой молекулярной формулой  $C_4H_{10}O$ . Однако между молекулами спирта образуются водородные связи, а между молекулами эфира таких связей нет, поэтому эфир испаряется легче. По той же причине легче испаряется гексан, несмотря на то что молекулярная масса гексана больше, чем бутилового спирта.

Анализируя результаты измерения температуры при испарении бутилового спирта, диэтилового эфира и гексана, обучающиеся приходят к выводу, что межмолекулярные водородные связи оказывают существенное влияние на физические свойства веществ. Общий вид графиков зависимости температуры от времени показан на рисунке 16.

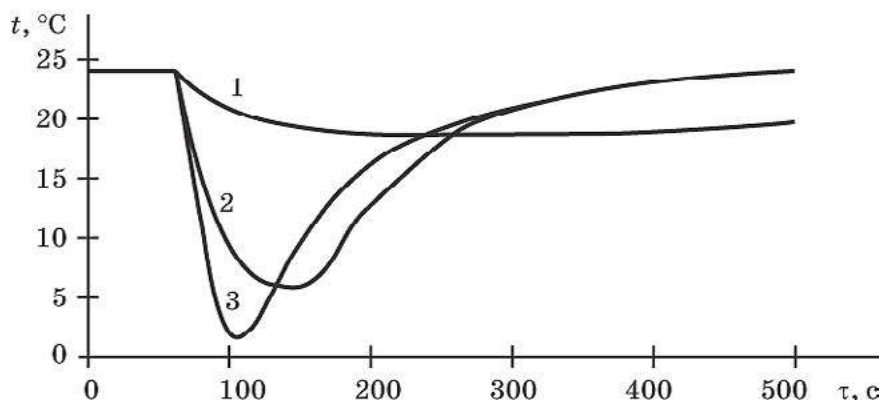


Рис. 16. Графики зависимости температуры от времени испарения: 1 — бутиловый спирт; 2 — гексан; 3 — диэтиловый эфир

*Оборудование и материалы:* два термопарных и три терморезисторных датчика температуры; баня комбинированная лабораторная, штатив с лапкой, пробирки — 3 шт.; электроплитка лабораторная или электронагреватель; песочная баня; по 5 мл этилового\*, пропилового, бутилового, изобутилового спиртов\*\*, диэтилового эфира и гексана.

#### *Техника безопасности*

1. Все низкомолекулярные спирты являются горючими жидкостями, поэтому при нагревании спиртов вблизи не должно быть открытого огня.

2. Диэтиловый эфир и гексан — низкокипящие, легковоспламеняющиеся жидкости, при работе с которыми необходимо следить, чтобы вблизи не было открытого огня. Эти

\* Для опыта можно взять ректификат (азеотропная смесь с водой, содержащая 95,6% этанола по массе), температура кипения которого на 0,24 °С ниже, чем абсолютного этилового спирта.

\*\* При отсутствии одного из спиртов в школьной лаборатории можно ограничиться измерением температур кипения двух образцов.



вещества легко испаряются, их пары могут вызвать отравление. Избегать вдыхания паров эфира, гексана и спиртов.

3. Необходимо соблюдать осторожность при работе с водяной и песчаной банями.

### Практическая часть

**Опыт 1.** «Сравнение температуры кипения предельных одноатомных спиртов»

*Цель опыта:* экспериментально установить зависимость температуры кипения спиртов, принадлежащих к одному гомологическому ряду, от длины углеродной цепи.

#### *Инструкция:*

Нагрейте песчаную баню примерно до 100—110 °С. В пробирки налейте ~5 мл исследуемых спиртов и опустите датчики температуры. В пробирки с этиловым и пропиловым спиртами — терморезисторный, а в пробирку с бутиловым — термопарный. Закрепите датчики так, чтобы кончик чувствительного элемента был погружён в спирт не менее, чем на 3 см и не касался ни дна, ни стенок пробирки.

Поместите пробирки в песок и начните запись значений температуры. Когда закипит первый из спиртов, зафиксируйте температуру. Затем последовательно определите температуры кипения двух оставшихся спиртов.

Обратите внимание, при кипении однородной жидкости температура кипения остаётся постоянной.

#### *Оформление отчёта*

Заполните таблицу.

Спирт	Этанол	Пропанол-1	Бутанол-1
Формула строения			
Температура кипения, °С			

#### *Контрольные вопросы*

1. На основе полученных данных сделайте вывод о зависимости температуры кипения от длины углеродной цепочки в молекуле спирта.

2. Сравните со справочными данными температуры кипения исследуемых спиртов, установленных в ходе эксперимента.

**Опыт 2.** «Сравнение температур кипения изомеров»

*Цель опыта:* экспериментально установить зависимость температуры кипения органических веществ от их химического строения.

#### *Инструкция*

Нагрейте песочную баню примерно до 150—160 °С, а водяную — почти до кипения (~80 °С). В 3 пробирки налейте ~5 мл исследуемых веществ: диэтилового эфира, бутилового спирта (бутанол-1) и изобутилового спирта (2-метилпропанол-1). Опустите датчики температуры: в пробирку с эфиром — терморезисторный, а в пробирку с изомерными бутиловыми спиртами — термопарный. Закрепите датчики так, чтобы кончик чувствительного элемента был погружён в спирт не менее чем на 3 см и не касался ни дна, ни стенок пробирки.

Поместите пробирки в соответствующие бани: с эфиром — в водяную, а со спиртами — в песчаную. Когда закипит эфир, зафиксируйте температуру. Затем последовательно определите температуры кипения двух изомерных спиртов.

Обратите внимание: при кипении однородной жидкости температура кипения остаётся постоянной.



Оформление отчёта  
Заполните таблицу.

Вещество	Диэтиловый эфир	Бутанол-1	2-метилбутанол-1
Формула строения			
Температура кипения, °С			

*Контрольные вопросы*

1. Почему температура кипения эфира существенно отличается от температуры кипения изомерных ему спиртов?
2. Почему отличаются температуры кипения бутилового и изобутилового спиртов? У какого спирта температура кипения ниже и почему?

**Опыт 3.** «Изучение испарения органических веществ»

*Цель опыта:* сравнить изменение температуры при испарении спирта, эфира и жидкого алкана.

*Инструкция*

В три пробирки налейте по 4 мл бутанола-1, диэтилового эфира и гексана. Опустите в них температурные датчики так, чтобы фильтровальная бумага, закрепленная на конце, была полностью погружена в исследуемую жидкость. Через 1—2 мин после погружения датчиков в вещества начните регистрацию значений температуры, дождитесь, когда показания датчиков стабилизируются. Значение температуры до начала испарения занесите в таблицу. Приблизительно через 60 с после начала измерения осторожно выньте датчики из пробирок с веществами и закрепите их на столешнице с помощью скотча таким образом, чтобы их шупы выступали на 5—6 см за край. Следите, чтобы датчики не соприкасались. Когда температура достигнет минимума, запишите показания датчиков и время от начала опыта в тетрадь.

Оформление отчёта  
Заполните таблицу.

№ опыта	Испаряемое вещество			Температура $t$ , °С			Время испарения, с
	название	формула	молярная масса, г/моль	начальная	минимальная	$\Delta$	
1							
2							
3							

*Контрольные вопросы*

1. Какое вещество: бутиловый спирт или изомерный ему эфир, испаряется легче? Обоснуйте свой вывод, опираясь на данные эксперимента. Как этот факт связан со строением веществ?
2. Почему испаряющийся гексан охлаждает сильнее, чем спирт, молярная масса которого меньше?
3. Какие свойства веществ зависят от наличия водородных связей между молекулами?

*Задание для подготовки к ГИА, ВПР*

Между молекулами каких из перечисленных веществ образуются водородные связи?



- 1) этанол
  - 2) этилен
  - 3) ацетилен
  - 4) фенол
  - 5) стирол
- Ответ: 1, 4.

### 5. Задание для развития функциональной грамотности

Юные исследователи, участники школьного химического кружка, решили исследовать свойства изопропилового спирта. В пустую сухую пластиковую бутылку они налили совсем чуть-чуть изопропилового спирта. Затем жидкость слегка взболтали, поставили бутылку на ровную поверхность и с помощью длинной лучинки подожгли пары спирта, выходящие из горлышка.

Они увидели, как пламя постепенно распространяется вниз по мере выгорания спиртовых паров. Это выглядело очень эффектно и красиво. Однако, дойдя до дна, пламя вопреки ожиданиям погасло.

#### Контрольные вопросы

1. Почему пламя, дойдя до дна бутылки, быстро гаснет, хотя спирт ещё остаётся? Почему не загорается жидкий спирт?

2. Школьники решили повторить эксперимент. Они добавили в бутылку еще некоторое количество спирта, взболтали и попробовали поджечь. Однако пламя появлялось только сверху, у самого горлышка бутылки, и сразу гасло, не переходя внутрь. Объясните данное наблюдение.

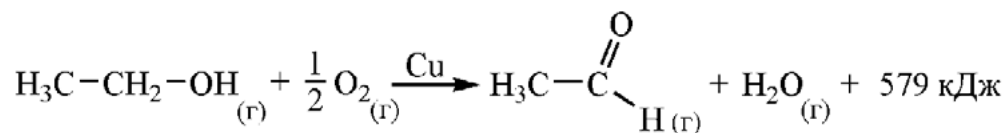
3. Было проведено два параллельных опыта. В первом случае в бутылку наливали чистый изопропиловый спирт (100%). Во втором — 70%-й водный раствор изопропилового спирта (используется автомобилистами в качестве стеклоомывателя, «незамерзайки»). При поджигании паровоздушной смеси в опыте с чистым спиртом пластиковая бутылка оставалась целой, а в опыте с раствором спирта оплавлялась и деформировалась. Как объяснить наблюдаемые различия в результатах эксперимента?

#### Лабораторный опыт:

##### «Тепловой эффект реакции окисления этанола»

##### Теоретическое введение

При окислении этилового спирта кислородом воздуха образуются различные продукты реакции: уксусный альдегид, уксусная кислота и др. Это экзотермический процесс.



Выходящие из прибора газы можно пропустить через воду и раствор подвергнуть анализу. Реакцией серебряного зеркала доказывается наличие альдегида, кислую среду раствора — при помощи индикаторов или датчика pH. Этот эксперимент целесообразно проводить при изучении способов получения альдегидов.

##### Практическая часть

**Цель опыта:** определить тепловой эффект реакции окисления этанола кислородом воздуха.

**Оборудование и материалы:** прибор для окисления спирта над медным катализатором, в резиновой пробке прибора должно быть отверстие для датчика; высокотемпературный датчик (термопара), закреплённый в резиновой пробке; штатив с зажимом; газометр или резиновая груша; спиртовка; водяная баня или горячая вода; 10 мл этанола.



*Инструкция*

В прибор для окисления спирта налейте 8—10 мл этанола. Закройте отверстие резиновой пробкой со спиралью и датчиком. Высокотемпературный датчик должен касаться медной спирали. Собранный прибор закрепите в штативе.

Подготовьте газометр. Он должен быть заполнен воздухом. Закройте все краны. В верхнюю воронку налейте воды. Присоедините газометр к прибору для окисления спирта резиновой трубкой.

Опустите прибор для окисления спирта в горячую воду на 1—2 мин. Извлеките резиновую пробку со спиралью и датчиком и внесите в пламя спиртовки. Когда спираль раскалится, быстро опустите её в стеклянный сосуд прибора. Одновременно подавайте из газометра небольшой ток воздуха, открыв кран газометра.

Наблюдайте за изменением цвета медной спирали и изменением температуры. Измерения проводите в течении 2—3 мин.

*Оформление отчёта*

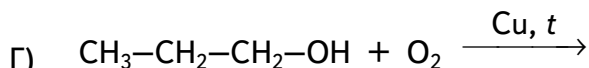
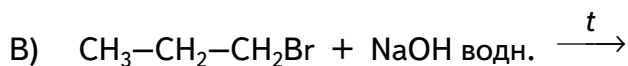
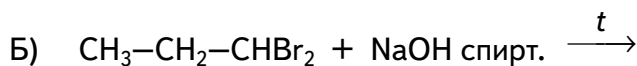
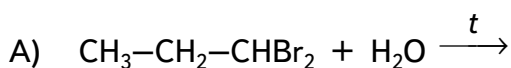
*Контрольные вопросы*

1. Отметьте самый высокий показатель температуры.
2. Экзотермической или эндотермической является реакция окисления спирта? Свой ответ подтвердите результатами измерений.
3. Какую функцию в протекании этой реакции выполняет медь?
4. Предложите алгоритм исследования продуктов реакции и осуществите его.

*Задания для подготовки к ГИА, ВПР*

1. Установите соответствие между реагирующими веществами и продуктом, который преимущественно образуется при взаимодействии этих веществ.

РЕАГИРУЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА



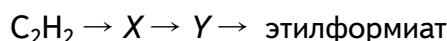
ПРОДУКТ РЕАКЦИИ

- 1) пропанол-1
- 2) пропанол-2
- 3) пропаналь
- 4) пропилен
- 5) пропен
- 6) пропионовая кислота

А	Б	В	Г

Ответ: 3, 4, 1, 3.

2. Задана следующая схема превращений веществ:



Определите, какие из указанных веществ являются веществами X и Y.

- |                   |                       |                 |
|-------------------|-----------------------|-----------------|
| 1) этанол         | 3) муравьиная кислота | 5) ацетальдегид |
| 2) 1,1-дихлорэтан | 4) уксусная кислота   |                 |

X	Y

Ответ: 5, 1.

3) Из предложенного перечня выберите все экзотермические реакции.

- 1) каталитическое окисление этанола до этанала
- 2) окисление этанола до уксусной кислоты
- 3) горение паров этанола в кислороде
- 4) внутримолекулярная дегидратация этанола в присутствии концентрированной серной кислоты
- 5) этерификация этанола уксусной кислотой

Ответ: 1, 2, 3, 5.

*Задание для развития функциональной грамотности*

Органическое вещество *A* можно получить в лаборатории несколькими способами, два из которых рассмотрены ниже.

Способ 1.

В пробирку 1 (рис. 1) наливают небольшое количество жидкости *X*, над которой закрепляют раскалённую медную спираль 2. По тонкой трубке в пробирку вдувают воздух. По газоотводной трубке в пробирку 3 с холодной водой проходят пары, содержащие вещество *A*.

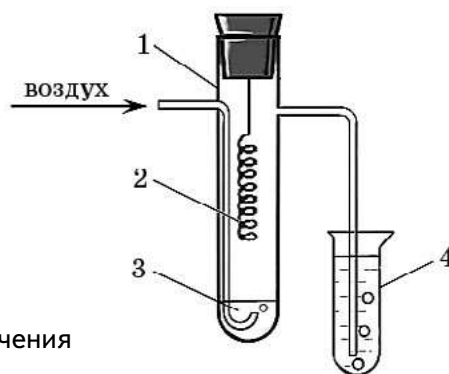


Рис. 1. Прибор для получения вещества *A*

Способ 2.

В колбу Вюрца 1 (рис. 2) помещают кусочки твёрдого вещества  $Y_1$ . Из капельной воронки добавляют воду. Как только вода приходит в соприкосновение с поверхностью  $Y_1$ , тотчас начинает выделяться бесцветный газ  $Y_2$ , который пропускают через раствор сульфата меди в банке 2 для очистки от примесей. В банку 3 предварительно наливают раствор серной кислоты и добавляют оксид ртути (II). При взаимодействии этих веществ образуется катализатор для реакции синтеза *A*. В присутствии данного катализатора газ  $Y_2$  в банке 3 превращается в вещество *A*.

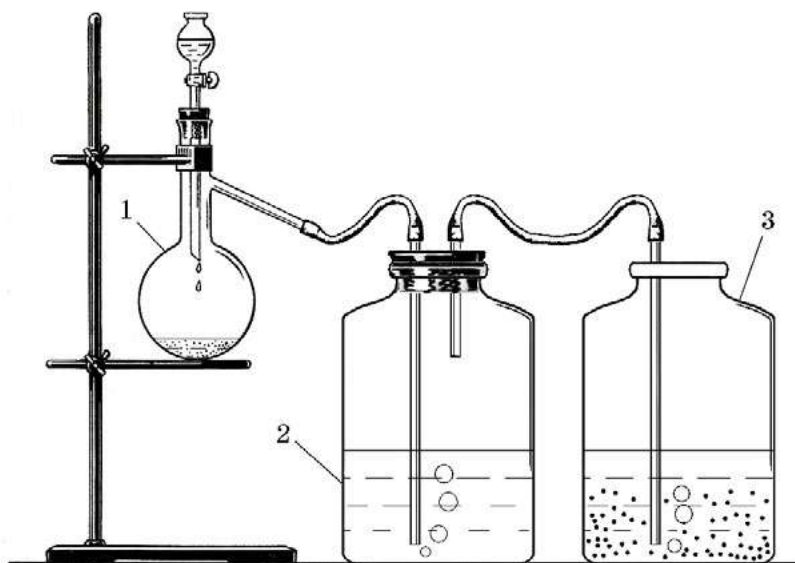


Рис. 2. Прибор для получения вещества *A*

*Контрольные вопросы*

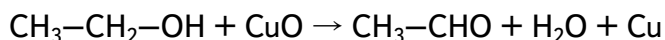
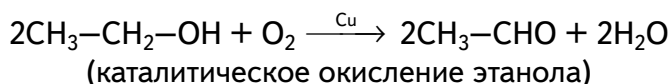
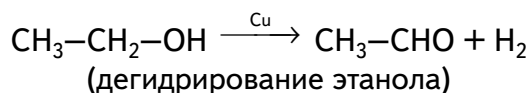
1. О получении какого вещества *A* идёт речь в условии задачи?
2. Из какого вещества *X* получают вещество *A* в приборе, показанном на рисунке 1? Приведите соответствующее уравнение реакции.
3. Определите вещества  $Y_1$  и  $Y_2$ , о которых идёт речь при описании второго способа получения вещества *A*. Составьте соответствующие уравнения реакций. Кто открыл реакцию получения *A* из  $Y_2$ ?
4. С помощью каких качественных реакций можно доказать образование вещества *A* в ходе описанных опытов? Приведите два примера.
5. По мере пропускания газа в банке 2 образуется осадок чёрного цвета. Предположите, какая реакция протекает в этом промывном сосуде, если известно, что сырьё, используемое в промышленности для получения  $Y_1$ , может содержать примесь сульфатов.
6. Часто для получения газа  $Y_2$  на вещество  $Y_1$  действуют не водой, а крепким раствором поваренной соли. Почему?

Решение:

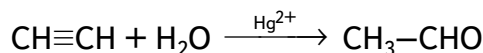
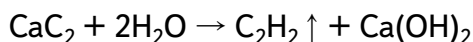
1) Вещество *A* — уксусный альдегид (ацетальдегид, этаналь)  $\text{CH}_3\text{CHO}$ .

Способ 1 — получение ацетальдегида из этанола, т. е. вещества *X*.

Допускается несколько вариантов уравнений:



Способ 2.  $Y_1$  — карбид кальция;  $Y_2$  — ацетилен

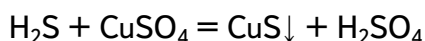


Реакцию гидратации ацетилена (и его гомологов) в присутствии солей ртути открыл русский учёный М. Г. Кучеров (1881).

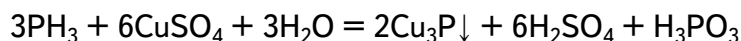
1. Образование ацетальдегида можно доказать с помощью качественных реакций на альдегиды, например с фуксинсернистой кислотой или с аммиачным раствором оксида серебра (реактивом Толленса).

2. Технический карбид кальция ( $Y_1$ ) — продукт прокаливания смеси оксида кальция с коксом. Оксид кальция получают из природных известняков, содержащих примеси фосфата и сульфата кальция. В результате их восстановления коксом в конечном продукте оказываются фосфид и сульфид. При действии воды на карбид кальция, загрязнённый данными соединениями, протекает реакция их гидролиза, и в образующийся ацетилен попадают примеси фосфина и сероводорода. В банке 2 выделяющийся ацетилен очищается от этих примесей.

Сероводород с растворимой солью меди образует осадок чёрного цвета:



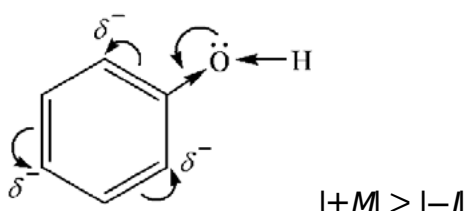
Фосфин в этих же условиях тоже даёт осадок чёрного цвета:



3. При приливании воды к карбиду кальция реакция идёт всегда очень бурно. Для получения более спокойного и равномерного тока ацетилена часто к карбиду кальция добавляют крепкий раствор поваренной соли.

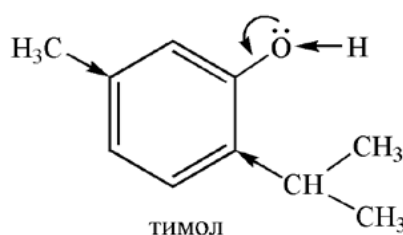
**Лабораторный опыт:****«Влияние нитрогрупп на кислотные свойства фенола»**Теоретическое введение

Кислотные свойства фенола ярче по сравнению со спиртами. Это объясняется тем, что неподелённая электронная пара атома кислорода в молекуле фенола находится в *p*,*π*-сопряжении с *π*-электронами бензольного кольца. Таким образом, гидроксильная группа, помимо отрицательного индуктивного эффекта (*-I*), обладает положительным мезомерным эффектом (*+M*):



Величина *+M*-эффекта больше, чем *-I*-эффекта, поэтому электронная плотность атома кислорода частично смещена в сторону бензольного кольца, что приводит к повышению полярности связи *O—H* и, следовательно, увеличению подвижности атома водорода гидроксильной группы, усилению кислотных свойств.

Кислотные свойства фенолов ослабевают при введении электронодонорных заместителей, например алкилов:

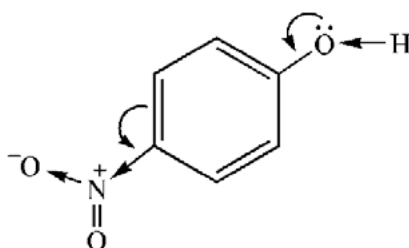


Электроноакцепторные заместители в бензольном кольце, например нитрогруппы —  $\text{NO}_2$ , наоборот, усиливают кислотность фенола. Все нитрофенолы — кристаллические вещества, малорастворимые в воде. Они способны вытеснять угольную кислоту из её солей. Константы диссоциации фенола и нитрофенолов представлены в таблице ниже.

**Константы диссоциации фенола и его производных в водных растворах**

Название вещества	фенол	тимол	<i>p</i> -нитрофенол	2,4-динитрофенол	2,4,6-тринитрофенол
Константа диссоциации	$1,3 \cdot 10^{-10}$	$2,4 \cdot 10^{-11}$	$6,5 \cdot 10^{-8}$	$8,3 \cdot 10^{-5}$	$4,1 \cdot 10^{-1}$

Из таблицы видно, что увеличение числа электроноакцепторных заместителей — нитрогрупп — в бензольном кольце значительно увеличивает кислотность гидроксила. Ниже представлена схема смещения электронной плотности в молекуле *p*-нитрофенола:







2,4-динитрофенол по силе приближается к карбоновым кислотам (уксусная, пропионовая), а 2,4,6-тринитрофенол (пикриновая кислота) — к сильным минеральным кислотам. Нитрофеноляты щелочных металлов по свойствам близки к солям.

### Практическая часть

*Цель опыты:* изучить кислотные свойства фенола и его нитропроизводных.

*Оборудование и материалы:* комбинированный стеклянный электрод; 2 стакана на 50 мл; штатив с зажимом; промывалка; дистиллированная вода; по 20 мл 0,01М водных растворов фенола, *n*-нитрофенола, 2,4-динитрофенола (при отсутствии необходимых реактивов можно ограничить число исследуемых нитропроизводных фенола).

### *Техника безопасности*

1. Фенол и его нитропроизводные — высокотоксичные вещества, поражают нервную систему, печень, почки, сильно раздражают кожу, слизистые оболочки, вызывают дерматиты.
2. Динитрофенолы и пикриновая кислота взрывоопасны. При работе с указанными веществами необходимо соблюдать предельную осторожность.

### *Инструкция*

В стакан налейте 20 мл разбавленного раствора фенола (0,01 моль/л). Опустите комбинированный стеклянный электрод, закреплённый в лапке штатива. Наблюдайте за изменением значения рН. Когда показания рН перестанут изменяться, запишите значение рН в тетрадь.

Стеклянный электрод тщательно промойте водой.

Во второй стакан налейте 20 мл раствора *n*-нитрофенола и опустите в раствор электрод. После установления постоянного значения рН занесите полученное значение в тетрадь.

### *Оформление отчёта*

Заполните таблицу.

№ опыта	Исследуемый раствор	Концентрация, моль/л	рН
1.	фенол	0,01	
2.	4-нитрофенол	0,01	
3.	2,4-динитрофенол	0,01	

### *Контрольные вопросы*

1. Как влияют нитрогруппы на кислотные свойства фенола?
2. Предскажите допустимые значения рН в 0,01М растворе 2,4,6-тринитрофенола (пикриновой кислоты). Свой ответ обоснуйте.
3. Найдите в справочной литературе значения констант ионизации исследуемых веществ и пикриновой кислоты. Сопоставьте данные справочника с полученными результатами.
4. Предскажите, какое соединение — тимол (2-изопропил-5-метилфенол) или фенол — является более сильной кислотой. Свой ответ обоснуйте и сопоставьте со справочными данными.

### *Задание для подготовки к ГИА, ВПР*

Для веществ, приведённых в перечне, определите среду их водных растворов с одинаковой молярной концентрацией.

- 1)  $C_6H_5OH$
- 2)  $C_6H_5ONa$
- 3)  $CH_3COONa$
- 4)  $CH_3COOH$

Запишите номера веществ в порядке возрастания значения рН их водных растворов.

Ответ: 4, 1, 3, 2.



### *Задание для развития функциональной грамотности*

В 1834 году немецкий химик Фридрих Фердинанд Рунге выделил из каменноугольной смолы кристаллическое вещество, умеренно растворимое в воде и обладающее специфическим запахом.

Водный раствор фенола получил название «карболовая кислота», потому что обладал слабыми кислотными свойствами (слабее угольной кислоты). Важным свойством фенола оказалась его способность уничтожать микроорганизмы. В 1865 году шотландский врач Джозеф Листер впервые в истории медицины использовал водный раствор фенола (карболовую кислоту) в качестве антисептика для обработки раны больного с открытым переломом кости. В 1867 году Листер опубликовал работу «О новом способе лечения переломов и гнойников с замечаниями о причинах нагноения». Метод Листера взяли на вооружение его коллеги. В России с 1867 года применять карболовую кислоту как антисептик стал выдающийся русский хирург Николай Иванович Пирогов.

Ещё одна область применения фенола, в значительной степени потерявшая на сегодня актуальность, — это получение пикриновой кислоты, или тринитрофенола. Впервые это вещество было получено ещё в 1771 году английским химиком Питером Вулфом при действии азотной кислоты на природный краситель индиго. Полученное вещество имело лимонно-жёлтый цвет и горький вкус, за что в 1836 году было названо по предложению Жана Батиста Дюма пикриновой кислотой (от греч. *πικρός* — горький).

В 1885 году пикриновая кислота была запатентована как взрывчатка, в 1886 году француз Эжен Тюрпен провёл испытание начинённых ею взрывных снарядов, а в 1887 году на красильной фабрике близ Манчестера по вине жёлтого красителя произошёл взрыв. После этого случая от использования пикриновой кислоты как пигмента для тканей стали отказываться, тем более что появились дешёвые анилиновые красители. Зато стало расширяться производство взрывчатых материалов на её основе. Лидировала Франция. Французы разработали несколько рецептов порохов, включающих соли пикриновой кислоты. Тюрпен создал бризантный состав, получивший название «мелинит» (от греч. *μήλινοζ* — жёлтый). В составе мелинита пикриновая кислота содержалась не в виде мелких кристаллов, а в сплавленном состоянии, что повышало её стойкость к детонации и делало снаряды нечувствительными к сотрясанию и неспособными взрываться в стволе орудия в момент выстрела.

Рецепт мелинита держался в секрете, но в 1890 году Дмитрий Иванович Менделеев, не прибегая к услугам шпионов, на основании анализа открытых данных сделал вывод о том, что основной компонент мелинита — пикриновая кислота. В России производство мелинита началось в 1894 году. В русской армии помимо французского названия «мелинит» бытовало также название «пикринит». В Англии взрывчатое вещество на основе пикриновой кислоты называлось «лиддит» (по имени города Лидда, где он производился). Англичане использовали лиддит в 1899 году в англо-бурской войне. В Японии подобный состав называли «шимозе». Снаряды, начинённые пикриновой кислотой, применялись в русско-японской войне с обеих сторон. В русских военных хрониках японские снаряды назывались «шимозами». (Для текста использован материал из статьи: *Мей В.* Фенол, сиречь карболка // *Химия и жизнь.* 1982. № 4. С. 63–66.)

### *Контрольные вопросы*

1. Объясните, почему гуашь пахнет фенолом.
2. Как с фенолом связано высказывание Антона Павловича Чехова: «Какой неожиданный блеск, какая революция! Благодаря антисептике делают операции, какие великий Пирогов считал невозможными даже «in spe» (т. е. в будущем)...»?
3. В рассказе А. П. Чехова «Враги» мы читаем следующие строки: «По случаю дифтерита вся прислуга ещё с утра была выслана из дому. Кирилов, как был, без сюртука, в



расстёгнутой жилетке, не вытирая мокрого лица и рук, обожжённых карболкой, пошёл сам отворять дверь». Почему у доктора Кирилова были обожжены руки?

4. Чем опасен фенол? Какие меры предосторожности необходимо соблюдать при работе с ним?

5. Прочитайте небольшой отрывок диалога из романа Александра Николаевича Степанова «Порт-Артур»:

— Вы ранены? — спросила Варя, увидя кровь на лице у Звонарёва.

— Нет, поцелован японской красавицей по имени шимоза.

— Надо смазать иодом во избежание нагноения, — с апломбом проговорила девушка.

6. Объясните, какая «японская красавица поцеловала» прапорщика Звонарёва.

7. Выберите из текста такую информацию, которая является для вас неожиданной, так как противоречит вашим ожиданиям и представлениям.

8. Можно ли сделать из прочитанного такие выводы, которые были бы значимы для будущей деятельности и жизни?

9. Найдите такую информацию, которая могла бы заинтересовать всех учеников в классе.

### **Лабораторный опыт:**

#### **«Сравнение температур плавления *цис*- и *транс*-изомеров»**

##### Теоретическое введение

Изомерия — одно из основных понятий в курсе органической химии. К сожалению, при изучении этого понятия учителя практически не имеют возможности использовать химический эксперимент. Чаще всего на уроке применяются данные об изомерах, взятые из справочников. При изучении карбоновых кислот можно провести несложный опыт с олеиновой и элаидиновой кислотами, чтобы показать различные свойства геометрических изомеров.

После того как ученики познакомились со строением олеиновой кислоты, предлагается изобразить структурные формулы *цис*- и *транс*-изомеров. Ученики записывают в своих тетрадях строение этих изомеров и подписывают названия: олеиновая кислота (*цис*-изомер), элаидиновая кислота (*транс*-изомер). После вопроса о том, будут ли отличаться свойства этих кислот, учитель демонстрирует образцы изомеров (олеиновая кислота до урока должна быть охлаждена до кристаллизации). Можно не демонстрировать твёрдую олеиновую кислоту, а показать её в жидком виде, указав при этом, что температура плавления кислоты составляет 16,25 °С.

При изучении химии на базовом уровне достаточно ограничиться сравнением качественных характеристик изомерных кислот: при комнатной температуре (~20 °С) олеиновая кислота жидкая, а элаидиновая — твёрдая. В классах профильного уровня целесообразно экспериментально определить количественные характеристики свойств изомеров. Причём можно ограничиться определением температуры плавления только элаидиновой кислоты.

Чистая элаидиновая кислота плавится при 44,2 °С, однако не всегда удаётся получить точное значение, соответствующее справочной величине. В этом случае следует объяснить ученикам, что *цис*- и *транс*-изомеры могут переходить в друг друга. Поэтому температура плавления кислоты немного отличается от ожидаемой.

Если позволяет время, то можно продемонстрировать различную растворимость олеиновой и элаидиновой кислот в ацетоне или этилацетате. Анализируя результаты эксперимента, ученики делают важный вывод о различных свойствах *цис*- и *транс*-изомеров.



### Практическая часть

**Цель опыта:** научиться экспериментально сравнивать температуры плавления изомерных карбоновых кислот на примере олеиновой и элаидиновой, объяснять наблюдаемые различия.

**Оборудование и материалы:** терморезисторный датчик температуры; штатив с кольцом; огнезащитная прокладка или медная сетка; стакан на 150 мл; две пробирки разного диаметра; резиновое кольцо (от резиновой трубки) или пробка с небольшим отверстием для крепления одной пробирки в другой; электронагреватель или спиртовка; олеиновая кислота в твёрдом состоянии (охлаждённая до температуры кристаллизации); элаидиновая кислота (получение см. ниже).

#### Методика получения элаидиновой кислоты из олеиновой

Олеиновая кислота под действием оксидов азота или азотистой кислоты легко переходит в изомерную элаидиновую кислоту.

В небольшой цилиндр с притёртой пробкой (пробирку) налить 2—3 мл олеиновой кислоты и поместить кусочек очищенной смятой в комок медной проволоки (~ 0,2 г). Добавить в смесь 1—2 мл концентрированной азотной кислоты. Закрывать цилиндр пробкой и осторожно взболтать. Это необходимо для того, чтобы выделяющиеся оксиды азота лучше поглощались олеиновой кислотой. Время от времени следует приоткрывать пробку в вытяжном шкафу, чтобы не допустить высокого давления внутри цилиндра. Через несколько минут, когда выделение газов прекратится, плотно закрыть цилиндр пробкой. Примерно через час образующаяся элаидиновая кислота затвердевает в плотную массу. Лучше оставить содержимое до следующего дня.

На следующий день извлечь кислоту из пробирки, промыть водой и высушить между листами фильтровальной бумаги.

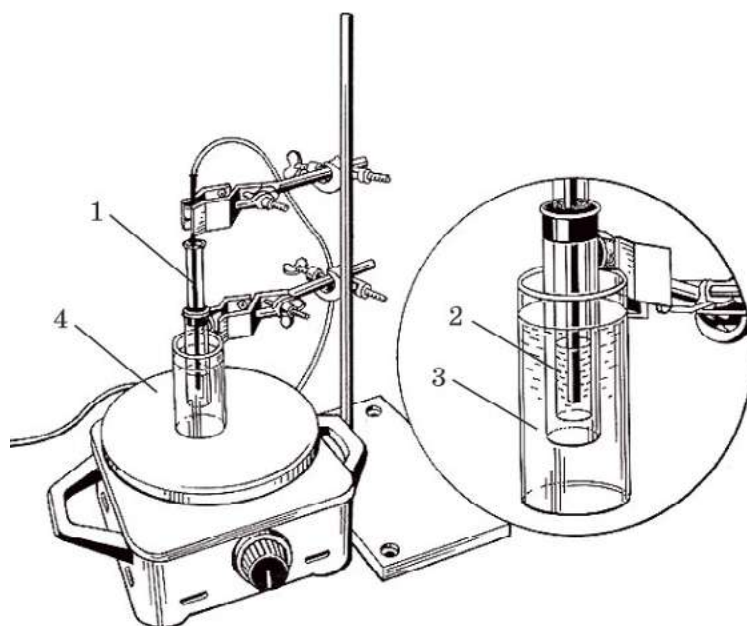
Температура плавления элаидиновой кислоты 44,2 °С.

#### Техника безопасности

Работа связана с использованием нагревательного прибора, следует остерегаться ожога.

#### Инструкция

До урока соберите прибор для определения температуры плавления (рис. 17), для этого возьмите две пробирки разного диаметра. На пробирку меньшего диаметра наденьте резиновое кольцо (от резиновой трубки) или пробку с небольшим отверстием. Вставьте пробирку с кольцом в пробирку с большим диаметром. Такая конструкция позволяет более равномерно нагревать исследуемый объект.



**Рис. 17.** Прибор для определения температуры плавления:  
1 — датчик температуры; 2 — пробирка с исследуемым веществом;  
3 — водяная баня; 4 — электроплитка



Небольшое количество элаидиновой кислоты (2—4 г) поместите во внутреннюю пробирку, опустите датчик температуры. Кончик датчика должен быть погружён в кислоту на 2—3 см, но не касаться дна и стенок пробирки. Собранный прибор поместите в стакан с теплой водой (ниже 40 °С) и медленно нагрейте. Измерьте температуру, при которой элаидиновая кислота плавится.

Для более точного определения температуры затвердевания кислоты можно использовать следующий приём. Сначала кислоту нагревают до температуры, немного превышающей температуру плавления, а затем при помешивании охлаждают. Как только кислота начнёт мутнеть, следует внимательно следить за показаниями датчика. В начале затвердевания температура держится на одном уровне, затем немного повышается и снова начинает опускаться. Наивысшую температуру, которую за это время показывал датчик, и отметить как температуру затвердевания.

Для изучения различной растворимости изомеров в две пробирки поместите примерно по 0,1 г кислот и прилейте по 2—3 мл ацетона (или этилацетата). Олеиновая кислота полностью растворяется в растворителе, а в пробирке с элаидиновой кислотой нет заметных изменений.

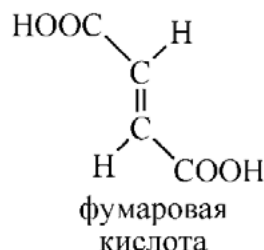
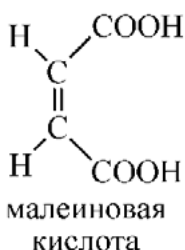
*Оформление отчёта*

Заполните таблицу.

Исследуемое вещество	Температура плавления, °С		Растворимость	
	Справочные данные	Данные эксперимента	в ацетоне	в этилацетате
Олеиновая кислота				
Элаидиновая кислота				

*Контрольный вопрос*

Известны изомерные кислоты:



По аналогии с олеиновой и элаидиновой кислотами предскажите свойства малеиновой и фумаровой кислот:

- какая из них имеет более высокую температуру плавления;
- какая заметно лучше растворяется в ацетоне?

**Лабораторный опыт:**

**«Определение температуры плавления стеариновой и пальмитиновой кислот»**

Теоретическое введение

Температура плавления вещества — важнейшая количественная характеристика его свойств. В несложном приборе с помощью датчика температуры ученики могут определить температуры плавления стеариновой (т. пл. 69,6 °С) и пальмитиновой (т.пл. 62,9 °С)



кислот. Так как температуры плавления значительно отличаются (на  $6,7^{\circ}\text{C}$ ), этот показатель можно использовать для идентификации кислот.

### Практическая часть

**Цель опыта:** определить температуры плавления стеариновой и пальмитиновой кислот; установить, можно ли использовать данный показатель (температуру плавления) для идентификации этих кислот.

**Оборудование и материалы:** терморезисторный датчик температуры; 2 пробирки разного диаметра, одна пробирка должна входить в другую; резиновое кольцо (от резиновой трубки) или пробка с небольшим отверстием для крепления одной пробирки в другой; штатив с лапкой; водяная баня; спиртовка (или электрическая плитка, газовая горелка); по 2 г стеариновой и пальмитиновой кислот.

### *Инструкция*

Возьмите две пробирки разного диаметра (рис. 17). На пробирку меньшего диаметра наденьте резиновое кольцо (от резиновой трубки) или пробку с небольшим отверстием. Вставьте пробирку с кольцом в пробирку с большим диаметром. Такая конструкция позволяет более равномерно нагревать исследуемый объект. Нагревание лучше проводить на водяной бане.

В собранный прибор, во внутреннюю пробирку, поместите около 2 г стеариновой кислоты. Прибор закрепите в лапке штатива. Нагрейте кислоту до температуры, немного превышающей температуру плавления, поместите в расплав датчик температуры. Уберите баню и медленно охлаждайте кислоты, помешивая расплав датчиком. Следите за тем, чтобы кончик датчика не касался ни дна, ни стенок пробирки.

Как только кислота начнёт мутнеть, внимательно следите за показаниями датчика. В начале затвердевания температура держится на одном уровне, затем немного повышается и снова начинает опускаться. Наивысшую температуру, которую за это время показывал датчик, и следует отметить как температуру плавления (затвердевания).

Снова расплавьте кислоту, извлеките датчик, аккуратно протрите его фильтровальной бумагой. Аналогичным образом повторите опыт с образцом пальмитиновой кислоты.

### *Оформление отчёта*

Заполните таблицу.

Название кислоты	Формула кислоты	Температура плавления, $^{\circ}\text{C}$	
		Данные эксперимента	Справочные данные
Стеариновая кислота			
Пальмитиновая кислота			

### *Контрольный вопрос*

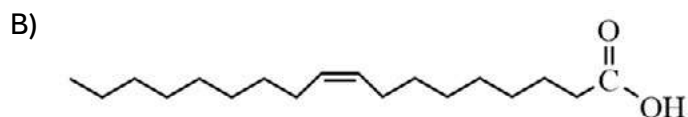
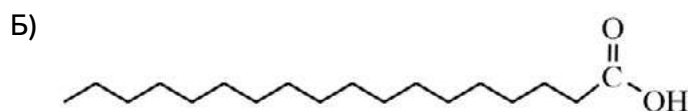
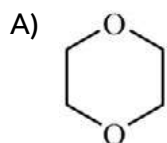
Можно ли использовать температуру плавления для идентификации стеариновой и пальмитиновой кислот?

### *Задания для подготовки к ГИА, ВПР*

1. Установите соответствие между формулой вещества и классом/группой органических соединений, к которому(-ой) это вещество принадлежит.



## ФОРМУЛА ВЕЩЕСТВА



А	Б	В

Ответ: 2, 4, 5.

## КЛАСС/ГРУППА

- 1) спирты
- 2) простые эфиры
- 3) сложные эфиры
- 4) предельные карбоновые кислоты
- 5) непредельные карбоновые кислоты

2. Из предложенного перечня выберите два вещества, которые являются изомерами углеродного скелета.

- 1) диэтиловый эфир
- 2) изопропиловый эфир пропионовой кислоты
- 3) 3,3-диметилбутановая кислота
- 4) бутанол-1
- 5) гексановая кислота

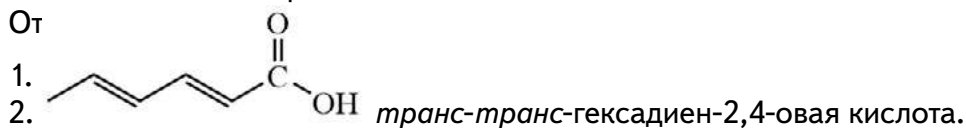
Ответ: 3, 5.

*Задание для развития функциональной грамотности*

Одноосновная карбоновая кислота широко применяется в пищевой промышленности в качестве безвредного природного консерванта. Известно, что она представляет собой *транс-транс*-изомер и содержит сопряжённую систему связей. Для полной нейтрализации 5,6 г данной кислоты требуется 8,2 мл 20%-го раствора гидроксида натрия (плотность 1,22 г/мл).

- 1) Определите состав кислоты, о которой идёт речь в задаче.
- 2) Установите её строение и предложите соответствующую формулу.
- 3) Используя возможности глобальной сети Интернет, найдите тривиальное название этой кислоты. Каково происхождение этого названия?

От



3. Сорбиновая кислота, от лат. *Sorbus* — род рябина. Впервые получена немецким химиком А. В. Гофманом в 1859 году из сока рябины (*Sorbus aucuparia L.*).

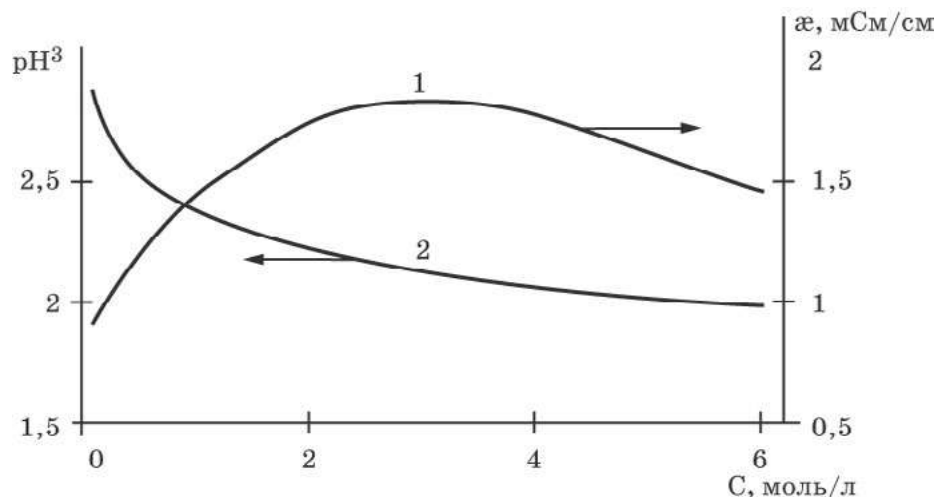
### Лабораторный опыт:

#### «Определение электропроводности и pH раствора уксусной кислоты»

##### Теоретическое введение

Уксусная кислота — слабый электролит, её концентрированный раствор имеет очень низкое значение электропроводности. При разбавлении раствора степень электролитической диссоциации увеличивается, электропроводность постепенно возрастает, проходит через максимум и снова уменьшается (рис. 18).

Концентрация ионов  $H^+$  ( $H_3O^+$ ) постепенно уменьшается с разбавлением уксусной кислоты (рис. 18) в широком интервале доступных концентраций.



**Рис. 18.** Графики зависимости удельной электропроводности (1) и pH (2) раствора от концентрации уксусной кислоты при 25 °C

##### Практическая часть

**Цель опыта:** проводить измерения pH и электропроводности растворов, интерпретировать результаты, делать выводы о силе исследуемых электролитов, в частности о силе карбоновых кислот.

**Оборудование и материалы:** комбинированный стеклянный электрод; датчик электропроводности; стаканы на 50 мл — 3 шт.; штатив с зажимом; промывалка; дистиллированная вода; по 20 мл 6 М, 1 М и 0,1 М растворов уксусной кислоты.

##### Техника безопасности

1. Крепкая уксусная кислота — едкое вещество!
2. Следует избегать попадания кислоты на кожу и одежду.
3. Беречь глаза!
4. Стараться не вдыхать пары уксусной кислоты.

##### Инструкция

В стакан налейте 20 мл раствора уксусной кислоты, концентрация которой 6 моль/л. Опустите в стакан стеклянный электрод и датчик электропроводности, закреплённые в лапке штатива. Сначала наблюдайте за изменением значений pH, а затем электропроводности. Одновременно датчики включать не следует, так как они могут повлиять на результаты измерений друг друга. Когда показания датчиков перестанут изменяться, запишите полученные значения в тетрадь.

Электроды сполосните водой и опустите их в более разбавленный раствор с концентрацией уксусной кислоты 1 моль/л. Наблюдайте за изменением значений. Когда показания датчиков перестанут изменяться, запишите значения в тетрадь.





Электроды сполосните водой, опустите в очень разбавленный раствор с концентрацией уксусной кислоты 0,1 моль/л. Снимите показания датчиков и занесите в рабочую тетрадь.

*Оформление отчёта*

Заполните таблицу

№ опыта	Концентрация раствора уксусной кислоты, моль/л	Электропроводность, мкСм/см	Значение pH
1.	6		
2.	1		
3.	0,1		

*Контрольные вопросы*

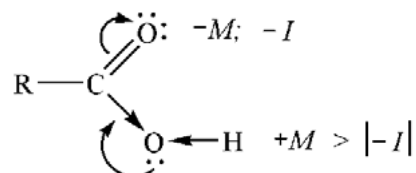
1. Сделайте вывод о принадлежности уксусной кислоты к сильным или слабым электролитам. На какие экспериментальные данные вы опираетесь, формулируя свой вывод?
2. Как зависит электропроводность раствора от разбавления?
3. Чем обусловлена кислая среда растворов уксусной кислоты?

**Лабораторный опыт:**

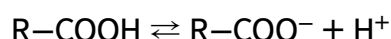
**«Изучение силы одноосновных карбоновых кислот»**

Теоретическое введение

Кислотный характер карбоновых кислот проявляется благодаря наличию в их молекулах карбоксильной группы, внутри которой имеется сопряжение. Сопряжение осуществляется за счёт перекрывания *p*-орбитали атома кислорода гидроксильной группы с *p*-орбиталью атома углерода карбонильной группы. Взаимное влияние атомов в карбоксильной группе обуславливает смещение электронной плотности от гидроксильной группы в сторону карбонильной:



Это смещение приводит к повышению полярности и ослаблению связи O—H в гидроксильной группе, что облегчает диссоциацию кислоты:



Степень диссоциации, а следовательно, 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. В таблице ниже приведены константы диссоциации нескольких органических кислот.

#### Константы диссоциации первых представителей гомологического ряда кислот

Кислота	Муравьиная	Уксусная	Масляная
$K_a$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,74 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$



Константы диссоциации кислот, особенно уксусной и масляной, очень близки. Это важно учитывать при постановке данного опыта. Необходимо тщательно готовить растворы, используя мерные колбы. Расчёты производить с учётом массовой доли основного вещества в исходном реактиве. Обычно в школы поступает муравьиная кислота квалификации «чистая» с массовой долей 85% и плотностью 1,94 г/мл. Уксусная кислота — «чистая» и «химически чистая», 98% с плотностью 1,055 г/мл, масляная — «чистая» 98 % с плотностью 0,96 г/мл. Следует брать точные навески вещества (до сотового знака), для измерения объёма использовать пипетку.

### Практическая часть

*Цель опыта:* определить pH растворов карбоновых кислот и сделать вывод об их силе.

*Оборудование и материалы:* комбинированный стеклянный электрод; 3 стакана на 50 мл; штатив с лапкой; промывалка; дистиллированная вода; по 30 мл 0,1М растворов муравьиной, уксусной и масляной кислот.

#### *Техника безопасности*

1. Кислоты — едкие вещества, следует избегать их попадания на кожу и одежду.
2. Беречь глаза!
3. Стараться не вдыхать пары кислот.
4. Масляная кислота имеет крайне неприятный запах, растворы следует готовить под тягой.

#### *Инструкция*

Налейте в стакан около 30 мл раствора муравьиной кислоты. Опустите в него комбинированный стеклянный электрод, закреплённый в лапке штатива. Наблюдайте за изменением значения pH. Когда показания pH перестанут изменяться, запишите значение pH в тетради.

Стеклянный электрод тщательно промойте водой и опустите в раствор уксусной кислоты. Порядок выполнения работы соблюдайте при исследовании всех остальных растворов.

#### *Оформление отчёта*

Заполните таблицу

№	Название кислоты	Формула кислоты	Концентрация кислоты в исследуемом растворе	Значение pH
1.				
2.				
3.				

#### *Контрольные вопросы*

1. Сделайте вывод о силе кислот.
2. Как влияет строение углеводородного радикала на силу кислоты?

#### *Задание для подготовки к ГИА, ВПР*

1. Для веществ, приведённых в перечне, определите среду их водных растворов с одинаковой молярной концентрацией.

- 1)  $\text{CH}_3\text{COOH}$
- 2)  $\text{HCOOH}$
- 3)  $\text{CH}_3\text{COONa}$
- 4)  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$

Запишите номера веществ в порядке возрастания значения pH их водных растворов.

Ответ: 2, 1, 4, 3.

**Лабораторный опыт:****«Распознавание растворов органических кислот»**Теоретическое введение

С помощью датчика можно определить pH растворов выданных кислот с одинаковой молярной концентрацией. Однако данной информации недостаточно для идентификации выданных кислот, так как обучающиеся не знают, какая из этих кислот является более сильной, а какая — менее сильной. Для получения информации ученикам можно предложить справочные данные (справочники на бумажной основе или интернет-ресурсы) (см. табл. ниже).

**Константы ионизации и значения pH в 0,01М растворах некоторых органических кислот**

Кислота	Константа ионизации при 25 °С $\langle \text{?} \rangle$	Теоретическое значение pH в 0,01М растворе
Бензойная	$6,2 \cdot 10^{-5}$	3,1
Салициловая	$1,1 \cdot 10^{-3}$	2,6
Щавелевая	$5,6 \cdot 10^{-2}^*$	2,1

\* Для щавелевой кислоты приведено значение  $K_1$ .

Сравнивая константы ионизации кислот, учащиеся приходят к выводу, что самая сильная из выданных кислот — щавелевая, менее сильная — салициловая, а самая слабая — бензойная. Поэтому значение pH 0,01М раствора щавелевой кислоты самое маленькое, а бензойной — самое большое.

Практическая часть

**Цель опыта:** идентифицировать выданные растворы бензойной, салициловой и щавелевой кислот.

**Оборудование и материалы:** комбинированный стеклянный электрод (датчик pH); штатив с зажимом; 3 пронумерованных стакана на 50 мл, содержащих по 20 мл 0,01М растворов бензойной, салициловой\* и щавелевой кислот; промывалка; дистиллированная вода.

Методика получения салициловой кислоты из аспирина

Салициловую кислоту можно быстро получить гидролизом ацетилсалициловой кислоты — аспирина<sup>1</sup>. Для выполнения работы лучше брать аспирин российского производства, поскольку импортный препарат помимо активного компонента содержит различные наполнители (крахмал, клетчатка).

Поместить 20 г ацетилсалициловой кислоты (40 таблеток по 0,5 г предварительно измельчить в ступке) и 200 мл 20 %-й соляной кислоты в коническую или плоскодонную колбу на 500 — 1000 мл. Колбу нагревать 30 мин на кипящей водяной бане, периодически встряхивая для перемешивания содержимого.

\* При отсутствии в школьном кабинете химии салициловой кислоты её можно легко получить из ацетилсалициловой кислоты (аспирина), см. методику ниже.

<sup>1</sup> Корчагин М., Головнер В. Н. Синтез этилсалицилата из аспирина (по материалам Solomon, Sally; Hur, Chinyu; Lee, Alan; Smith, Kurt. J. Chem. Educ. 1996. 73 (№ 2). P. 173—175) // Химия в школе. 2001. № 3. С. 69—70.



Окончание процесса фиксируется по появлению запаха уксуса и загустению смеси. Продолжать нагревание еще 10 мин, затем охладить. После охлаждения добавить 100 мл холодной воды и отфильтровать смесь на воронке Бюхнера. Оставшиеся на фильтре кристаллы салициловой кислоты промыть несколькими порциями холодной воды по 10 мл для удаления следов уксусной кислоты и высушить.

Выход салициловой кислоты около 14 г.

#### Инструкция

Датчик pH закрепите в лапке штатива. Исследуйте раствор в стакане 1. Наблюдайте за изменением значений pH. Когда показания прибора стабилизируются, запишите значение в тетрадь. Тщательно промойте датчик дистиллированной водой и повторите исследование двух оставшихся растворов.

#### Оформление отчёта

Заполните таблицу.

№ стакана	Концентрация кислоты, моль/л	pH	Константа диссоциации кислоты	Определяемое вещество
1.	0,01			
2.	0,01			
3.	0,01			

#### Контрольный вопрос

Объясните результаты исследований и обоснуйте свой вывод в отношении идентифицируемых веществ.

#### Задание для подготовки к ГИА, ВПР

##### Задание 1.

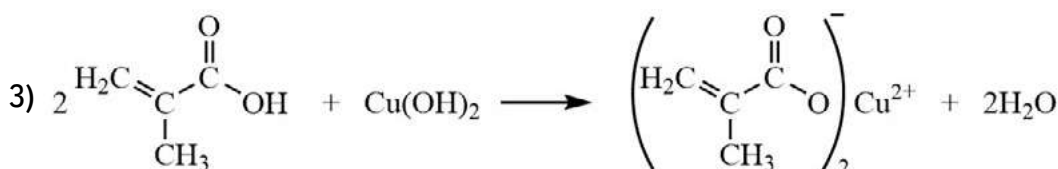
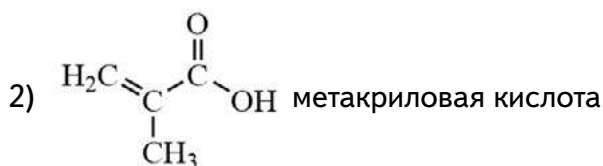
4,3 г паров органического вещества А, состоящего из трёх элементов, смешали с избытком кислорода и подожгли. Газовую смесь, полученную после полного сгорания А, привели к нормальным условиям и отделили жидкую воду, масса которой составила 2,7 г. Оставшиеся газы занимали объём 6,72 л; плотность смеси — 1,786 г/л. Известно, что вещество А содержит третичный атом углерода и его взаимодействие с гидроксидом меди (II) протекает без изменения степени окисления меди.

На основании данных условия задания выполните следующее:

- 1) проведите необходимые вычисления (указывайте единицы измерения физических величин) и установите молекулярную формулу вещества А;
- 2) составьте возможную структурную формулу вещества А, которая однозначно отражает порядок связи атомов в его молекуле;
- 3) напишите уравнение реакции вещества А с гидроксидом меди (II) (используйте структурные формулы органических веществ).

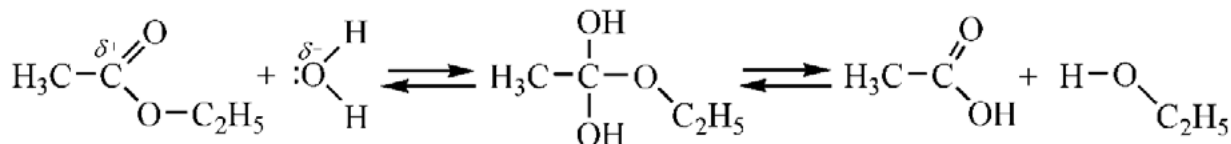
Ответ:

1)  $C_4H_6O_2$

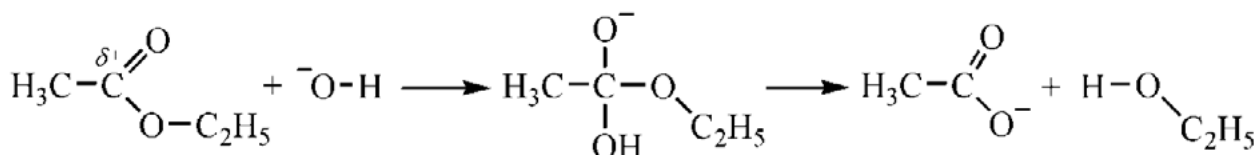


**Лабораторный опыт:****«Щелочной гидролиз этилацетата»**Теоретическое введение

Данный эксперимент нацелен на выявление закономерностей протекания гидролиза сложных эфиров, который в нейтральной среде идёт с низкой скоростью, поскольку вода обладает слабыми нуклеофильными свойствами. Равновесие сильно смещено влево:



В щелочной среде гидролиз идёт гораздо быстрее, в этом случае принимает участие сильный нуклеофил — гидроксид-ион  $\text{OH}^-$ . Щелочной гидролиз практически необратим, так как образующийся анион карбоновой кислоты не может быть атакован нуклеофилом.



О скорости протекания реакции можно судить по изменению pH. Для достижения поставленной цели перед демонстрацией эксперимента необходимо актуализировать опорные знания учащихся о водородном показателе pH, о его зависимости от концентрации ионов водорода  $\text{H}^+$  в водном растворе. Графики зависимости pH от времени, которые строит компьютер на основании измерений, фиксируемых датчиком pH, целесообразно демонстрировать на большом экране.

Практическая часть

**Цель опыта:** получить экспериментальные данные о зависимости pH раствора щелочи от времени в процессе гидролиза сложного эфира, объяснить полученные результаты.

**Оборудование и материалы:** комбинированный стеклянный электрод; 2 стакана на 50 мл; штатив с лапкой; промывалка; дистиллированная вода; 2 мл известковой воды (насыщенный раствор гидроксида кальция); 4 мл этилового эфира уксусной кислоты (этилацетата).

Инструкция

В стакан налейте примерно 30 мл воды, добавьте 2 мл этилацетата и опустите в полученную смесь комбинированный стеклянный электрод, закреплённый в лапке штатива. Наблюдайте за изменением значения pH. Когда показания pH перестанут изменяться, запишите значение pH в тетради.

В другой стакан налейте 30 мл дистиллированной воды, прилейте 2 мл известковой воды и опустите в раствор стеклянный электрод, закреплённый в лапке штатива. Наблюдайте за изменением значения pH. Когда показания pH перестанут изменяться, запишите значение pH в тетради.

К полученному раствору прилейте 2 мл этилацетата. Осторожно перемешайте содержимое. Наблюдайте за изменением значения pH. Когда показания pH перестанут изменяться, запишите значение pH в тетради.



Оформление отчёта  
Заполните таблицу.

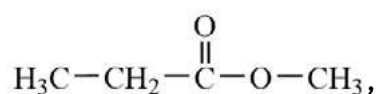
Исходные вещества	Значение pH	Уравнение реакции
Вода + этилацетат		—
Вода + гидроксид кальция		—
Вода + гидроксид кальция + этилацетат		

Контрольный вопрос

В какой среде гидролиз этилового эфира уксусной кислоты протекает быстрее? Почему?

Задание для подготовки к ГИА, ВПР

При щелочном гидролизе сложного эфира, формула которого



образуются вещества:

- 1) уксусная кислота
- 2) пропионовая кислота
- 3) пропионат натрия
- 4) этанол
- 5) метанол

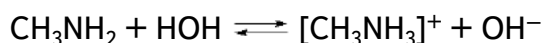
Ответ: 3, 5.

**Лабораторный опыт:**

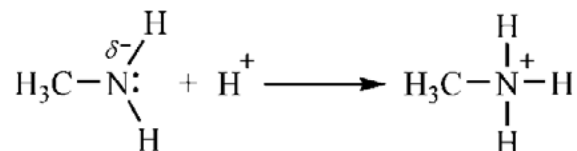
**«Сравнение основных свойств аммиака и метиламина»**

Теоретическое введение

Химические свойства аминов сходны со свойствами аммиака. Водный раствор низших аминов проявляет щелочные свойства:



Основные свойства аминов обусловлены способностью атома азота присоединять протон за счёт неподеленной электронной пары:



Основные свойства аминов выражены ярче, чем аммиака. Это объясняется тем, что углеводородные радикалы увеличивают электронную плотность на атоме азота и последний прочнее связывает протон. Константы диссоциации некоторых аминов представлены в таблице ниже.

Таблица 1

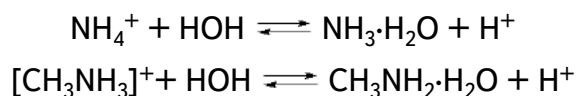
**Константы диссоциации азотсодержащих оснований**

Основание	$\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$	$\text{CH}_3\text{NH}_2 + \text{H}_2\text{O}$	$(\text{CH}_3)_2\text{NH} + \text{H}_2\text{O}$	$(\text{CH}_3)_3\text{N} + \text{H}_2\text{O}$
$K_b$	$1,76 \cdot 10^{-5}$	$5,25 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$8,1 \cdot 10^{-5}$



Как видно из таблицы, амины и аммиак образуют слабые основания.

Соли аммония и аминов подвергаются гидролизу. Так как они образованы слабыми основаниями, то гидролиз идёт по катиону:



Среда раствора кислая, так как при гидролизе происходит образование ионов  $\text{H}^+$ . Чем слабее основание, тем больше степень гидролиза и тем выше концентрация ионов водорода. Таким образом, измерив pH раствора соли, можно определить силу основания.

#### Практическая часть

*Цель опыта:* изучить и сравнить основные свойства аминов.

*Оборудование и материалы:* комбинированный стеклянный электрод; 2 стакана на 50 мл; штатив с зажимом; промывалка; дистиллированная вода; по 20 мл 0,1М растворов хлорида аммония и хлорида метиламмония.

#### *Инструкция*

В стакан налейте 20 мл раствора хлорида аммония. Опустите комбинированный стеклянный электрод, закреплённый в лапке штатива. Наблюдайте за изменением значения pH. Когда показания pH перестанут изменяться, запишите значение pH в тетрадь.

Стеклянный электрод тщательно промойте водой.

Во второй стакан налейте 20 мл раствора хлорида метиламмония и опустите в раствор электрод. После установления постоянного значения pH занесите полученное значение в тетрадь.

#### *Оформление отчёта*

Заполните таблицу.

№ опыты	Исследуемый раствор	Значение pH	Уравнение реакции гидролиза

#### *Контрольный вопрос*

Сделайте вывод о силе основных свойств метиламина и аммиака.

#### *Задание для подготовки к ГИА, ВПР*

Из предложенного перечня выберите вещества, основные свойства которых выражены ярче, чем у аммиака:

- 1) метиламин
- 2) диметиламин
- 3) анилин
- 4) дифениламин
- 5) пара-нитроанилин

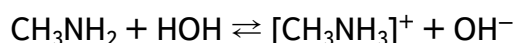
Ответ: 1, 2.

#### **Лабораторный опыт:**

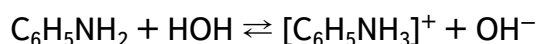
#### **«Изучение основных свойств анилина»**

#### Теоретическое введение

Ароматические амины имеют менее выраженный основной характер, чем алифатические амины. Чтобы в этом убедиться, можно сравнить константы диссоциации:

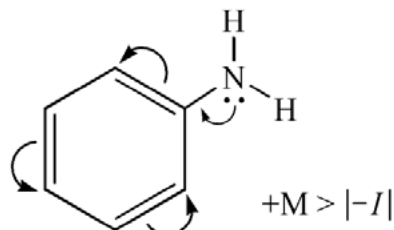


$$K_b = 5,25 \cdot 10^{-3}$$



$$K_b = 3,8 \cdot 10^{-10}$$

Уменьшение основности анилина по сравнению с алифатическими аминами может быть объяснено взаимодействием неподелённой пары электронов атома азота с электронами бензольного ядра — *p*,*π*-сопряжением:



Такое сопряжение понижает способность неподелённой пары атома азота присоединять протон. Также при солеобразовании теряется сопряжение заместителя с бензольным кольцом, что также энергетически невыгодно. Таким образом, гидролиз хлорида фениламмония по сравнению с хлоридом метиламмония идёт в большей степени.

### Практическая часть

*Цель опыта:* изучить основные свойства анилина, объяснять результаты измерения pH растворов солей аммония, предельных и ароматических аминов.

*Оборудование и материалы:* комбинированный стеклянный электрод; стаканы на 50 мл — 4 шт.; штатив с зажимом; промывалка; дистиллированная вода; 20 мл насыщенного раствора анилина в воде; по 20 мл 0,1М растворов хлоридов аммония, фениламмония и метиламмония.

### Инструкция

В стакан налейте 20 мл насыщенного раствора анилина. Опустите комбинированный стеклянный электрод, закреплённый в лапке штатива. Наблюдайте за изменением значения pH. Когда показания pH перестанут изменяться, запишите значение pH в тетрадь.

Стеклянный электрод тщательно промойте водой.

Во второй стакан налейте 20 мл раствора хлорида фениламмония, концентрация которого 0,1 моль/л. Опустите в раствор электрод и после установления постоянного значения pH, занесите полученное значение в тетрадь.

Порядок выполнения работы соблюдайте при исследовании всех остальных растворов.

### Оформление отчёта

Результаты исследований занесите в таблицу.

№ опыта	Исследуемый раствор	Концентрация, моль/л	pH
1.	анилин (насыщенный)	0,35 <sup>1</sup>	
2.	хлорид фениламмония	0,1	
3.	хлорида метиламмония	0,1	

<sup>1</sup> Данная величина рассчитана на основании справочных данных: Рабинович В. А., Хавин З.Я. Краткий химический справочник. Л.: Химия, 1991. С. 136. При изучении химии на углублённом уровне можно предложить школьникам рассчитать данную величину самостоятельно.





4.	хлорида аммония	0,1	
----	-----------------	-----	--

*Контрольный вопрос*

На основании проведённого исследования расположите следующие вещества: анилин, метиламин и аммиак в порядке возрастания основных свойств.

*Задания для подготовки к ГИА, ВПР*

1. Установите соответствие между названием вещества и средой раствора этого вещества.

НАЗВАНИЕ ВЕЩЕСТВА	СРЕДА РАСТВОРА
А) хлорид аммония	1) нейтральная
Б) сульфат фениламмония	2) кислая
В) бромид бария	3) щелочная
Г) диметиламин	

А	Б	В	Г

Ответ: 2, 2, 1, 3.

2. С помощью лакмуса можно различить растворы следующих веществ:

- 1) аммиака и метиламина
- 2) метиламина и хлорида метиламмония
- 3) уксусной кислоты и этанола
- 4) уксусной кислоты и метиламина
- 5) уксусной кислоты и хлорида фениламмония

Ответ: 2, 3, 4.

*Задание для развития функциональной грамотности*

А. М. Бутлеров в биографическом очерке<sup>1</sup> о Н. Н. Зинине написал: «Огромное техническое значение этого открытия, сделанного в интересах чистой науки, служит лучшим ответом на слышащийся нередко в публике вопрос о том, какую пользу может принести то или другое научное исследование, не имеющее в данную минуту никакого утилитарного значения».

Используя текст учебника, информационные источники сети Интернет, ответьте на следующие вопросы:

- 1) О каком открытии Н. Н. Зинина пишет А. М. Бутлеров?
- 2) Напишите уравнение реакции, которая носит имя великого русского химика Николая Николаевича Зинина.
- 3) Почему, по словам А. М. Бутлерова, это открытие имеет огромное техническое значение?

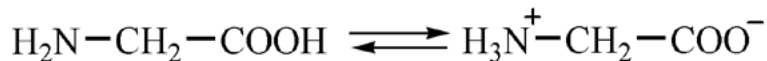
**Лабораторный опыт:****«Определение среды растворов аминокислот»**Теоретическое введение

Аминокислоты — твёрдые кристаллические вещества с высокой температурой плавления, при плавлении разлагаются. Хорошо растворимы в воде, водные растворы элек-

<sup>1</sup> Бутлеров А. М. Соч. Т. 3. М., 1958. С. 92—116.



тропроводны. Эти свойства объясняются тем, что молекулы аминокислот существуют в виде внутренних солей, которые образуются за счёт переноса протона от карбоксила к аминогруппе. При этом образуются частицы с положительными и отрицательными зарядами. Такие частицы называются биполярными ионами или цвиттер-ионами (*zwitter* в пер. с нем. — обоеполюй).



В водном растворе аминокислоты устанавливается динамическое равновесие между биполярным ионом, катионной и анионной формами. Важно понимать, что обычно используемая запись строения аминокислоты в неионизированном виде служит лишь для удобства. Положение равновесия зависит от pH среды. Общим для всех аминокислот является преобладание катионных форм в сильноокислых (pH 1—2) и анионных в сильнощелочных (pH 13—14) средах.

Водные растворы большинства аминокислот имеют почти нейтральную реакцию (pH ~ 6,8). Однако если в состав аминокислоты входят две карбоксильные группы, то реакция раствора будет кислой. Это объясняется тем, что один протон карбоксильной группы присоединяется к аминогруппе, протон H<sup>+</sup> второй карбоксильной группы переходит в раствор.

Кислота, содержащая две аминогруппы, при растворении в воде даёт щелочную реакцию. При взаимодействии с водой аминогруппа присоединяет протон, при этом происходит выделение свободных гидроксид-ионов OH<sup>-</sup>.

### Практическая часть

*Цель опыта:* экспериментально определить pH растворов аминокислот. На основании полученных экспериментальных установок установить зависимость кислотно-основных свойств аминокислот от их химического строения.

*Оборудование и материалы:* комбинированный стеклянный электрод; стаканы на 50 мл — 4 шт.; штатив с лапкой; промывалка; дистиллированная вода; по 20 мл 0,01M растворов глицина, аланина, глутаминовой кислоты, лизина.

### *Инструкция:*

В стакан налейте примерно 20 мл раствора глицина, опустите в раствор комбинированный стеклянный электрод, закреплённый в лапке штатива. Наблюдайте за изменением значения pH. Когда показания pH перестанут изменяться, запишите значение pH в тетради.

Стеклянный электрод тщательно промойте водой и опустите в раствор глутаминовой кислоты.

Порядок выполнения работы соблюдайте при исследовании всех остальных растворов.

### *Оформление отчёта*

Заполните таблицу.

№	Название аминокислоты	Формула аминокислоты	Соотношение числа карбоксильных групп и аминогрупп (-COOH : NH <sub>2</sub> -)	Значение pH
1.	Глицин		1:1	
2.				
3.				
4.				

**Контрольные вопросы**

1. На основе полученных данных сформулируйте вывод о зависимости значения pH исследуемого раствора от состава аминокислоты.

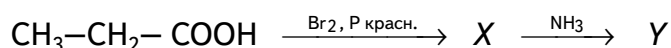
2. Задания для подготовки к ГИА, ВПР

1. Изомерами аланина являются:

- 1) 2-аминопропановая кислота
- 2) 3-аминопропановая кислота
- 3) 4-метиламинобензол
- 4) 1-нитропропан
- 5) глицин.

Ответ: 2, 4.

3. В заданной схеме превращений:



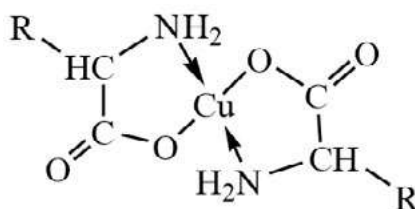
веществами X и Y соответственно являются:

- |                             |                              |
|-----------------------------|------------------------------|
| 1) 2-бромпропановая кислота | 4) пропионат аммония         |
| 2) 3-бромпропановая кислота | 5) 2-аминопропановая кислота |
| 3) бромэтан                 |                              |

X	Y

**Лабораторный опыт:****«Кислотные свойства аминокислот»****Теоретическое введение**

$\alpha$ -аминокислоты образуют прочные хелатные комплексы с ионами металлов  $\text{Me}^{2+}$  и  $\text{Me}^{3+}$ . Их водные растворы в отличие от растворов соответствующих солей щелочных металлов обладают очень низкой электропроводностью. Это обусловлено тем, что хелатные комплексы с ионами металлов  $\text{Me}^{2+}$  и  $\text{Me}^{3+}$  электронейтральны:



Медные комплексы  $\alpha$ -аминокислот, окрашенные в синий цвет, используют для качественного и количественного анализа, а также для очистки  $\alpha$ -аминокислот.

Данный опыт позволяет поставить перед обучающимися учебную проблему: почему нейтральные растворы  $\alpha$ -аминокислот реагируют с соединениями меди подобно растворам минеральных кислот.

**Практическая часть:**

**Цель опыта:** исследовать взаимодействие  $\alpha$ -аминокислот с соединениями меди и цинка.

**Оборудование и материалы:** комбинированный стеклянный электрод, датчик электропроводности; стаканы на 50 мл — 4 шт.; штатив с кольцом и зажимом; промывалка; огнезащитная прокладка; шпатель; дистиллированная вода; 10%-е растворы глицина и гидроксида натрия; порошок оксида меди (II); гидроксид цинка; основной карбонат меди (II).



### Инструкция

В стакан налейте 15 мл 10%-го раствора глицина. Опустите в раствор комбинированный стеклянный электрод. Когда показания датчика перестанут изменяться, зафиксируйте значение pH.

Поставьте стакан с раствором аминокислоты на огнезащитную прокладку в кольцо штатива. Осторожно нагрейте раствор и небольшими порциями добавляйте в горячий раствор кислоты оксид меди (II). Перемешивайте раствор стеклянной палочкой и наблюдайте за изменением окраски. После того как оксид меди (II) перестанет растворяться, прекратите нагревание. Дайте раствору остыть до комнатной температуры и слейте раствор с осадка в чистый стакан. В полученный раствор опустите датчик pH и определите значение pH полученного раствора. Промойте электрод.

К полученному раствору прилейте несколько миллилитров раствора гидроксида натрия. Что наблюдаете?

Аналогичные операции проделайте с основным карбонатом меди (II).

С помощью датчика электропроводности определите, как изменяется электропроводность растворов в процессе взаимодействия глицина с оксидом меди (II), с основным карбонатом меди (II). Объясните наблюдаемые изменения.

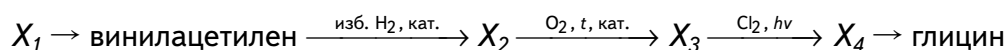
В другой стакан налейте раствор глицина и прибавьте немного порошка гидроксида цинка. Размешайте раствор и осторожно нагрейте. Что наблюдаете? Исследуйте растворы, используя датчики pH и электропроводности.

### Оформление отчёта

#### Контрольные вопросы

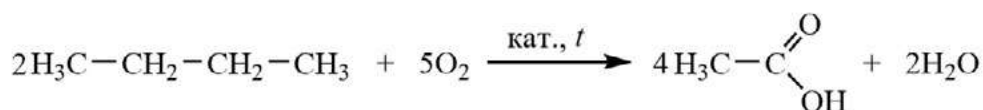
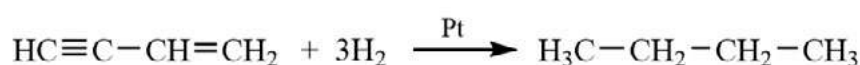
1. Отличаются ли значения pH исходного раствора глицина и продукта взаимодействия оксида меди (II) и аминокислоты? Объясните наблюдаемые измерения.
2. Почему при добавлении раствора щелочи к раствору комплексного соединения меди (II) синего цвета осадок гидроксида меди (II) не образуется?
3. Запишите уравнения реакций взаимодействия глицина с оксидом меди (II) и с основной солью.
4. Объясните изменение электропроводности растворов в процессе взаимодействия глицина с оксидом меди (II) и с основной солью.
5. Запишите уравнения реакций взаимодействия глицина с гидроксидом цинка. Объясните изменение pH и электропроводности растворов в процессе взаимодействия глицина с  $Zn(OH)_2$ .
6. Задание для подготовки к ГИА, ВПР

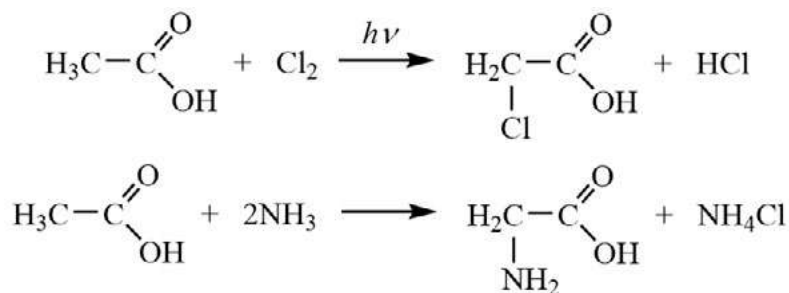
Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить следующие превращения:



При написании уравнений реакций указывайте преимущественно образующиеся продукты, используйте структурные формулы органических веществ.

Решение:





7. Задание для развития функциональной грамотности  
Прочитайте фрагмент статьи из Химической энциклопедии<sup>1</sup>.

### ИЗОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ТОЧКА (ИЭТ)

Характеристика состояния раствора амфотерного электролита (амфолита), соединения, способного присоединять или отщеплять протоны, превращаясь либо в положительно, либо в отрицательно заряженные ионы, при котором суммарный электрический заряд амфолита равен нулю.

В ИЭТ амфолит не перемещается в электрическом поле. ИЭТ соответствует рН раствора, при котором одинаковы концентрации положительно и отрицательно заряженных форм (например, для аминокислот). Значение рН в ИЭТ обозначают  $pI$  или  $pH_i$ .

Для большинства аминокислот  $pI$  4,5—6,0 и лишь для кислых и основных аминокислот смещается соответственно в кислую и щелочную область. В ИЭТ растворимость аминокислот в воде минимальна.

Ответьте на вопросы и выполните задания

1. Почему аминокислоты относят к амфотерным соединениям?
  2. Напишите ионные уравнения реакций, протекающих в растворе глицина при добавлении:
    - а) кислоты;
    - б) щелочи
  3. Какой заряд имеют образующиеся ионы аминокислот (положительный или отрицательный):
    - а) при  $pH > pI$ ;
    - б) при  $pH < pI$
  4. Объясните, в каких областях значений рН лежат ИЭТ следующих аминокислот?
    - а) глицина
    - б) аланина
    - в) аспарагиновой кислоты
    - г) лизина
- Сопоставьте свои выводы со справочными значениями.

### Лабораторный опыт:

#### «Определение температур размягчения полимеров»

#### Теоретическое введение

Важнейшим свойством термопластичных пластмасс является их способность размягчаться под действием нагревания. Эту способность пластиков используют в технике для формования разнообразных изделий.

<sup>1</sup> Химическая энциклопедия: в 5 т. / под ред. И. Л. Кнунянца. Т. 2. М.: Советская энциклопедия, 1990. С. 208.



Полимеры по отношению к нагреванию существенно отличаются от низкомолекулярных соединений. Они, как правило, размягчаются в довольно широком температурном интервале. Выше определённой температуры, которую называют **температурой стеклования**, подвижность коротких элементов цепочек возрастает, что приводит к размягчению, при котором возможно деформирование материала под воздействием какой-либо силы. На практике вместо температуры стеклования часто определяют **температуру размягчения**, величины которых для аморфных полимеров близки<sup>1</sup>.

Температура размягчения — важнейшая характеристика полимерного материала. У полиэтилена температура начала размягчения составляет 60—100 °С, у поливинилхлорида — 60—70 °С. Для данного опыта лучше взять полимеры с более низкими значениями температуры размягчения.

С помощью несложного прибора можно точно определить этот важнейший количественный показатель. Для этого подбирают две пробирки разного диаметра. На пробирку меньшего диаметра надевают резиновое кольцо (от резиновой трубки) или пробку с небольшим отверстием. Вставляют пробирку с кольцом в пробирку с большим диаметром. Такая конструкция позволяет более равномерно нагревать исследуемый объект.

### Практическая часть

**Цель опыта:** научиться экспериментально определять количественные характеристики полимеров, характеризующих их эксплуатационные свойства, в частности, температуры размягчения полистирола, поливинилхлорида, полиметилметакрилата, полиэтилена.

**Оборудование и материалы:** терморезисторный датчик температуры; штатив с кольцом, огнезащитная прокладка или медная сетка; стакан на 150 мл; две пробирки разного размера; резиновое кольцо; электронагреватель или спиртовка; образцы полистирола, поливинилхлорида, полиметилметакрилата и полиэтилена.

### *Техника безопасности*

1. При работе с нагревательными приборами необходимо соблюдать осторожность.
2. Следует беречься ожога!
3. Полимеры, нагретые до высокой температуры, могут легко воспламениться.

### *Инструкция*

Закрепите в штативе кольцо и поместите на него огнезащитную прокладку. В стакан налейте около 50 мл воды и поставьте на огнезащитную прокладку. Нагрейте воду в стакане примерно до 70 °С. Отрегулируйте пламя таким образом, чтобы в водяной бане нагревалась примерно на 10 °С в минуту.

Соберите прибор для определения температуры размягчения, для этого маленькую пробирку закрепите внутри большой с помощью резинового кольца (рис. 17). Во внутреннюю пробирку опустите кусочек исследуемого полимера, прибор поместите в водяную баню (стакан с водой).

С помощью датчика температуры зафиксируйте начало размягчения полимера.

### *Оформление отчёта*

Заполните таблицу.

Исследуемый полимер	Формула мономера	Температура размягчения, °С
Полиэтилен		
Полистирол		
Поливинилхлорид		
Полиметилметакрилат		

<sup>1</sup> Браун Д., Шердрон Г., Керн В. Практическое руководство по синтезу и исследованию свойств полимеров. М.: Химия, 1976. С. 36 — 39.

*Контрольные вопросы***1. Задания для подготовки к ГИА, ВПР**

1. Установите соответствие между названием мономера и формулой соответствующего ему полимера.

## НАЗВАНИЕ МОНОМЕРА

- А) стирол
- Б) изопрен
- В) винилхлорид

## ФОРМУЛА ПОЛИМЕРА

- 1)  $(-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-)_n$
- 2)  $(-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2-)_n$
- 3)  $(-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CCl}-\text{CH}_2-)_n$
- 4)  $(-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-)_n$
- 5)  $(-\text{CH}_2-\text{CHCl}-)_n$
- 6)  $(-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{C}_6\text{H}_5)-)_n$

А	Б	В

Ответ: 6, 2, 5.

2. Какие полимеры получают с помощью реакции поликонденсации?

- 1) фенолоформальдегидная смола
- 2) полиэтилентерефталат
- 3) бутадиеновый каучук
- 4) бутадиен-стирольный каучук
- 5) полиакрилонитрил

Ответ: 1, 2.

**2. Задание для развития функциональной грамотности**

Прочитайте небольшой текст из книги Бахыта Кенжеева и Петра Образцова «Удивительные истории о веществах самых разных»<sup>1</sup>

В начале Второй мировой войны английские учёные напряжённо работали над созданием новых материалов, которые помогли бы обеспечить победу над нацистской Германией. И несмотря на то что немецкие химики считались лучшими в мире, именно англичане в 1941 году добились поразительных успехов в синтезе самых перспективных полимеров для бытовых и промышленных нужд. Главным их открытием стало соединение со сложным названием «полиэтилентерефталат». Впрочем, его сокращение — ПЭТ (или ПЭТФ), вовсе не такое уж сложное, быстро вошло во все европейские языки, в том числе и в русский. На Западе несминаемые ткани с добавкой волокон ПЭТ назывались дакроном или терилоном.

ПЭТ оказался поразительным полимером. Из него изготавливают не только волокна, ткани и пленки, но прежде всего обычные бутылки для воды и напитков, растительного масла, уксуса, молочных изделий, пива и даже крепкого алкоголя. ПЭТ-бутылки уникально легки, удобны в использовании, прочны, дешёвы и, что самое важное, совершенно инертны по отношению к содержимому.

*Ответьте на вопросы и выполните задания*

1. Напишите уравнение реакции, лежащей в основе промышленного получения ПЭТ. Этот процесс относится к реакциям полимеризации или поликонденсации? Ответ поясните.

<sup>1</sup> Кенжеев Б., Образцов П. Удивительные истории о веществах самых разных. М.: Изд-во Ломоносовъ, 2015. С. 264.



2. В 1949 году советские химики повторили успех англичан и получили волокно из ПЭТ. Как называли это волокно в СССР?

3. Если ПЭТ нагревать с раствором щелочи, то наблюдается разрушение полимера. Составьте уравнение реакции полиэтилентерефталата с раствором гидроксида натрия. Рассмотрите вариант использования этой реакции для утилизации пластиковой тары из-под напитков.

### Общая химия

#### Лабораторный опыт:

#### «Тепловой эффект растворения веществ в воде»

##### Теоретическое введение

Растворение веществ — сложное физико-химическое явление, зависящее от природы растворённого вещества и растворителя, от температуры и концентрации образующегося раствора. При растворении кристаллических веществ в воде происходят три основных процесса.

1) Разрушение кристаллической решётки растворяемого вещества — эндотермический процесс.

2) Гидратация, т. е. взаимодействие частиц (ионов или молекул) растворяемого вещества с молекулами воды, — экзотермический процесс.

3) Перенос гидратированных частиц от границы кристалл-раствор в общий объём раствора, этот процесс не сопровождается ни выделением, ни поглощением теплоты.

В зависимости от того, тепловой эффект какого из двух процессов (разрушение кристалла или гидратация частиц) преобладает, общий тепловой эффект растворения может быть величиной положительной или отрицательной.

##### Практическая часть

*Цель опыта:* определить тепловой эффект растворения серной кислоты, гидроксида натрия и нитрата аммония.

*Оборудование и материалы:* терморезисторный датчик температуры; стакан на 150 мл — 3 шт.; стеклянная палочка; промывалка; мерная пробирка; шпатель — 2 шт.; дистиллированная вода; серная кислота конц.; гидроксид натрия кристаллический; нитрат аммония.

##### *Техника безопасности*

1. Серная кислота и гидроксид натрия являются агрессивными веществами. Необходимо остерегаться их попадания на кожу и одежду. Беречь глаза!

2. Необходимо помнить правило разведения кислот.

3. На рабочем месте должны быть нейтрализующие средства: 2%-е растворы гидрокарбоната натрия и уксусной кислоты.

##### *Инструкция*

В стакан налейте 50 мл воды. С помощью датчика определите её температуру. Отмерьте 10 мл концентрированной серной кислоты и медленно, при перемешивании раствора стеклянной палочкой, вливайте серную кислоту. Следите за изменением температуры при растворении кислоты. Наиболее высокое показание температуры занесите в таблицу. Датчик тщательно промойте водой.

Во второй стакан поместите около 8 г твёрдого порошка гидроксида натрия и влейте 50 мл воды. Опустите датчик температуры и перемешайте раствор. Отметьте самое высокое значение температуры. Тщательно промойте датчик водой.

В третий стакан насыпьте 15 г мелкокристаллического нитрата аммония и приливают 50 мл воды. Опустите датчик температуры и быстро перемешайте раствор. Наиболее низкое значение температуры занесите в таблицу.





## Оформление отчёта

Заполните таблицу.

Исследуемая система	дистиллированная вода	вода + $H_2SO_4$	вода + NaOH	вода + $NH_4NO_3$
Температура, °C				

## Контрольные вопросы

1. Объясните, почему при растворении одних веществ в воде выделяется теплота, других — поглощается.

## 2. Задание для подготовки к ГИА, ВПР

При растворении 10 г NaOH в 250 мл воды температура повысилась на 9,70 °C. Определите тепловой эффект растворения данной щелочи (в кДж/моль), принимая удельную теплоёмкость раствора равной 4,18 Дж/(г · К). Ответ округлите до десятых.

Ответ: 42,2 кДж/моль

## 3. Задание для развития функциональной грамотности

Прочитайте фрагмент текста из книги Вильяма Сибрука<sup>1</sup>, в котором повествуется о том, как известный американский физик Роберт Вуд обогревал руки своей невесты во время катания в санях при сильном морозе.

У неё замерзли руки, и я сказал: «Хорошо бы достать бутылку с горячей водой!»

— Замечательно! Только где же мы её возьмём?

— Я сейчас сделаю её, — ответил я и вынул из-под сиденья винную бутылку, на три четверти полную холодной воды. Потом достал оттуда же флакон с *веществом А* и налил немного похуже на сироп жидкости в воду. Через десять секунд бутылка так нагрелась, что её нельзя было держать в руках. Когда она начинала остывать, я добавлял ещё *вещества А*. Когда *вещество А* перестало поднимать температуру, достал банку с палочками едкого натра и понемногу подкладывал их. Таким способом бутылка была нагрета почти до кипения всю поездку.

Объясните принцип работы «химической грелки» Роберта Вуда, которая описана в этом тексте. Подсказка: *вещество А* — известное соединение, состоящее из трёх элементов, одним из которых является сера.

**Лабораторный опыт:****«Изучение зависимости растворимости вещества от температуры»**Теоретическое введение

Растворы состоят из растворённого вещества и растворителя. Растворимость большинства твёрдых веществ в воде при повышении температуры увеличивается. Однако некоторые вещества не «подчиняются» этому правилу. Есть вещества, растворимость которых при изменении температуры мало изменяется, а есть и такие, растворимость которых с повышением температуры падает.

В качестве объектов исследования целесообразно взять хлориды калия и натрия, а также гидроксид кальция. Зависимость растворимости данных веществ от температуры представлена в таблице ниже.

<sup>1</sup> Сибрук В. Роберт Вильямс Вуд. Современный чародей физической лаборатории. М.: Гос. изд. технико-теоретической литературы, 1946. 312 с.



**Растворимость безводных веществ в 100 г воды  
при данной температуре, в г<sup>1</sup>**

Температура, °С	KCl	NaCl	Ca(OH) <sub>2</sub>
20	34,0	36,0	0,165
40	40,0	36,6	0,141
60	45,5	37,3	0,116
80	51,1	38,4	0,094

Для проведения опыта лучше брать мелко измельчённые кристаллы хлоридов калия и натрия. Насыщенный раствор гидроксида кальция готовится за несколько дней до проведения опыта. Для этого в большую склянку насыпают сухой гидроксид кальция слоем 1 см и заливают дистиллированной водой почти до пробки. Изредка взбалтывают смесь. По мере расходования насыщенного раствора в склянку доливают воду.

*Практическая часть*

*Цель опыта:* определить зависимость растворимости неорганических веществ от температуры.

*Оборудование и материалы:* терморезисторный датчик температуры; 2 стакана на 150 мл; пробирка; вата; шпатель; стеклянная палочка с резиновым кольцом; электроплитка из комплекта комбинированной лабораторной бани; промывалка; дистиллированная вода; кристаллические хлориды калия и натрия; известковая вода.

*Техника безопасности*

При проведении данного эксперимента используется нагревательный прибор — берегись ожога!

*Инструкция*

В стакан налейте около 30 мл дистиллированной воды. Используя температурный датчик, определите температуру воды в стакане. Зафиксируйте то значение температуры, которое устанавливается после стабилизации показаний прибора.

Небольшими порциями добавляйте в воду кристаллический хлорид калия и перемешивайте раствор стеклянной палочкой. Когда соль перестанет растворяться в воде, вы получите насыщенный раствор хлорида калия при данной температуре. На дне стакана должно оставаться немного нерастворённой соли.

Нагрейте полученный раствор на плитке. Что происходит с кристаллами соли, оставшимися от предыдущего прибавления соли? Вновь прибавьте порцию соли. Сделайте вывод о том, как влияет температура на растворимость хлорида калия в воде.

Во второй стакан налейте 30 мл воды и приготовьте насыщенный раствор хлорида натрия при комнатной температуре. Нагрейте раствор, повысив его температуру примерно на 20 °С. Если кристаллы, находящиеся на дне стакана растворились, добавьте ещё немного хлорида натрия. Тщательно перемешивайте раствор. Растворились ли кристаллы соли? Сделайте вывод о влиянии температуры на растворимость хлорида натрия в воде.

В пробирку налейте примерно 3 мл насыщенного раствора гидроксида кальция (известковой воды) и опустите в неё датчик температуры. Чтобы раствор не поглощал углекислый газ из воздуха, закройте пробирку рыхлым ватным тампоном. Осторожно нагрейте раствор, повысив его температуру примерно на 10 °С. Что происходит с раствором? Доведите раствор до кипения. Как изменяется мутность раствора?

<sup>1</sup> Лурье Ю. Ю. Справочник по аналитической химии. М.: Химия, 1971. С. 71—89.



Охладите раствор. Что происходит с образовавшимся осадком (как изменяется интенсивность помутнения раствора)? Сделайте вывод о влиянии температуры на растворимость гидроксида кальция в воде.

*Оформление отчёта*

1. Дополните предложения, вставив вместо пробела название соответствующего вещества.

- 1) На растворимость в воде \_\_\_\_\_ температура не оказывает значительного влияния.
- 2) С повышением температуры растворимость в воде \_\_\_\_\_ увеличивается.
- 3) С понижением температуры растворимость в воде \_\_\_\_\_ увеличивается.
- 4) Сравните полученные выводы со справочными данными.

2. *Задание для подготовки к ГИА, ВПР*

В таблице приведена растворимость хлората калия (в граммах  $KClO_3$  на 100 г воды) при различной температуре.

Температура, °C	10	20	25	30	40	60	80	100
Растворимость, г на 100 г воды	5,2	7,3	8,6	10,1	13,9	23,8	37,6	56,2

Определите, сколько граммов хлората калия выпадет в осадок при охлаждении 250 г насыщенного при 80 °C раствора до температуры 20 °C. (Запишите число с точностью до десятых.)

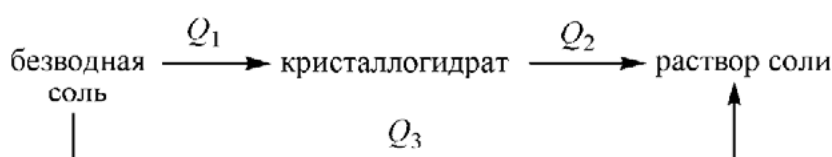
Ответ: 81,6 г.

### **Лабораторный опыт:**

#### **«Определение теплового эффекта образования кристаллогидратов из безводных солей»**

##### Теоретическое введение

Тепловой эффект образования кристаллогидратов из безводных солей, т. е. тепловой эффект реакции гидратации, можно вычислить, применяя закон Гесса, если известны тепловые эффекты растворения безводных солей и кристаллогидратов в воде.



На представленной выше схеме обозначены тепловые эффекты следующих процессов:  $Q_1$  — гидратация безводной соли,  $Q_2$  — растворение безводной соли;  $Q_3$  — растворение кристаллогидрата. По закону Гесса

$$Q_1 = Q_3 - Q_2$$

Самодельный калориметр изготавливается из внутреннего стеклянного стакана ёмкостью 250—300 мл. В качестве внешнего сосуда удобно использовать нижнюю часть пластиковой бутылки от газированных напитков. Высота пластиковой ёмкости должна быть чуть выше стеклянного стакана. Из картона вырезают крышку калориметра, диаметр которой меньше диаметра пластиковой бутылки на 2—3 мм. В крышке калориметра делают два отверстия: одно для воронки, другое — для датчика температуры. В обрезанную пластиковую бутылку помещают стакан, закрывают крышкой, вставляют воронку и датчик.



Тепловой эффект растворения исследуемого вещества рассчитывают по формуле:

$$Q = \frac{\Delta t \cdot C \cdot M}{m_3} = \frac{(t_2 - t_1) \cdot (m_1 C_1 + (m_2 + m_3) \cdot C_2) \cdot M}{m_3},$$

где  $t_1$  — начальная температура воды в стакане калориметра,  $t_2$  — температура раствора после полного растворения навески исследуемого вещества,  $m_1$  — масса колориметрического стакана,  $m_2$  — масса воды,  $m_3$  — масса навески соли,  $C_1$  — удельная теплоёмкость стекла 0,75 Дж/(моль · К),  $C_2$  — теплоёмкость раствора 4,18 Дж/(моль · К),  $M$  — молярная масса соли.

### Практическая часть

*Цель опыта:* определить тепловой эффект реакции образования кристаллогидратов из безводных солей.

*Оборудование и материалы:* терморезисторный датчик; мерный цилиндр на 100 мл — 2 шт.; лабораторные весы; магнитная мешалка с подогревом; самодельный калориметр; шпатель; стаканчик для взвешивания или бюкс — 2 шт.; сульфат меди(II) безводный; сульфат меди (II) пятиводный; другие соли и кристаллогидраты (сульфат натрия и сульфат натрия декагидрат, ацетат натрия и ацетат натрия тригидрат, карбонат натрия и карбонат натрия декагидрат).

### Техника безопасности

Остерегайтесь попадания сухих солей и растворов на кожу и одежду.

### Инструкция

Определите массу колориметрического стеклянного стакана. Соберите калориметр, в стакан поместите якорь для магнитной мешалки и влейте в него 200 мл воды. Измерьте температуру воды. Возьмите навеску безводного сульфата меди массой примерно 5—6 г. Точность измерения массы навески  $\pm 0,01$  г. Включите магнитную мешалку и через сухую воронку всыпьте навеску  $\text{CuSO}_4$  в колориметрический стакан. Отметьте самую высокую температуру, которую показывает датчик температуры.

Повторите опыт, взяв для эксперимента пятиводный сульфат меди (II) массой около 9 г.

Аналогичные эксперименты проведите с другими парами безводных солей и соответствующих кристаллогидратов.

### Оформление отчёта

Заполните таблицу

Исследуемая соль	Масса колориметрического стакана $m_1$ , г	Масса воды, $m_2$ , г	Масса соли $m_3$ , г	Температура воды $t_1$ , °С	Температура раствора $t_2$ , °С
$\text{CuSO}_4$					
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$					

### Контрольные вопросы

1. Вычислите тепловые эффекты растворения безводной соли и соответствующего кристаллогидрата.

2. Вычислите тепловой эффект реакции образования кристаллогидрата из безводной соли.

### Задания для подготовки к ГИА, ВПР

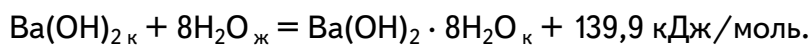
1. Тепловые эффекты растворения безводного сульфата меди и медного купороса  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  соответственно равны 66,11 кДж/моль и 11,72 кДж/моль. Рассчитайте тепловой эффект реакции гидратации сульфата меди  $\text{CuSO}_4$  (тепловой эффект перехода  $\text{CuSO}_4$  в  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ).

Ответ: 77,83 кДж/моль.



2. Вычислите тепловой эффект растворения безводного гидроксида бария, если известно, что при растворении 69,3 г кристаллогидрата  $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  поглощается 20 кДж теплоты.

Дано термохимическое уравнение реакции:



Ответ: 49 кДж/моль.

### **Лабораторный опыт:**

#### **«Зависимость электропроводности раствора от растворителя»**

##### Теоретическое введение

Процесс электролитической диссоциации в значительной степени зависит от растворителя. Такие свойства растворителя, как полярность молекулы, дипольный момент молекулы, диэлектрическая проницаемость, играют определяющую роль в диссоциации.

Сила электростатического притяжения между противоположно заряженными частицами уменьшается в среде с высокой диэлектрической проницаемостью (эта величина показывает, во сколько раз ослабевает сила притяжения между ионами по сравнению с вакуумом). Вода имеет высокое значение диэлектрической проницаемости, и поэтому она является хорошим ионизирующим растворителем. Диэлектрическая проницаемость воды при 25 °С равна 78,53. Тoluол, напротив, имеет низкое значение диэлектрической проницаемости — 2,3<sup>1</sup>.

Молекулы воды сильно полярны и имеют большой электрический дипольный момент — 1,84 D. Это является причиной возникновения диполь-дипольных и ион-дипольных взаимодействий в водных растворах. У толуола дипольный момент равен 0,36 D. Низкий дипольный момент растворителя не способствует диссоциации хлороводорода.

##### Практическая часть

*Цель опыта:* определить изменение электропроводности при растворении газообразного хлороводорода в различных растворителях, интерпретировать полученные результаты.

*Оборудование и материалы:* датчик электропроводности; 2 стакана на 50 мл; штатив с зажимом; фильтровальная бумага; промывалка; дистиллированная вода; 20 мл толуола; 2 шприца, заполненных хлороводородом, объемом 10—20 мл.

##### *Инструкция:*

В стакан налейте 20 мл дистиллированной воды. Опустите в воду датчик электропроводности. Наблюдайте за изменением значения электропроводности. Когда показания электропроводности перестанут изменяться, запишите значение электропроводности в тетрадь.

В другой стакан налейте 20 мл толуола. Опустите датчик электропроводности. Наблюдайте за изменением значения электропроводности. Когда показания электропроводности перестанут изменяться, запишите значение электропроводности в тетрадь.

В стакан с водой опустите шприц и медленно пропустите через воду ток хлороводорода. В полученный раствор опустите датчик электропроводности. Запишите значение электропроводности в тетрадь. Тщательно промойте датчик водой и высушите фильтровальной бумагой.

В стакан с толуолом опустите шприц и медленно пропустите через толуол ток хлороводорода. В полученный раствор опустите датчик электропроводности. Запишите значение электропроводности в тетрадь.

<sup>1</sup> Краткий справочник физико-химических величин 10-е изд., испр. и доп./под ред. А. А. Равделя и А. М. Пономарёвой. СПб.: Иван Фёдоров, 2003. С. 159. 240 с.



Оформление отчёта  
Заполните таблицу.

№ опыта	Вещества	Электропроводность, мкСм/см
1.	Вода	
2.	Толуол	
3.	Раствор хлороводорода в воде	
4.	Раствор хлороводорода в толуоле	

#### Контрольные вопросы

1. Сделайте вывод о влиянии растворителя на диссоциацию хлороводорода в растворах.

#### 2. Задание для подготовки к ГИА, ВПР

Лампочка прибора для исследования электропроводности загорится, если электроды погрузить в водные растворы:

- 1) ацетата аммония
- 2) муравьиной кислоты
- 3) ацетона
- 4) сахарозы
- 5) этилового спирта

Ответ: 1, 2.

#### Лабораторный опыт:

#### «Сильные и слабые электролиты»

##### Теоретическое введение

Электролитами называются вещества, распадающиеся на ионы вследствие электролитической диссоциации. Растворы электролитов являются проводниками второго рода, так как проводят электрический ток за счёт ионов. По способности к электролитической диссоциации электролиты условно разделяют на сильные и слабые. Сильные электролиты практически полностью диссоциированы на ионы в разбавленных растворах. К ним относятся многие неорганические соли, некоторые кислоты и щелочи. Слабые электролиты лишь частично диссоциированы на ионы, которые находятся в динамическом равновесии с недиссоциированными молекулами. К слабым электролитам относятся многие органические кислоты и основания.

##### Практическая часть

**Цель опыта:** на основании экспериментального измерения электропроводности растворов определить, являются ли выданные вещества сильными или слабыми электролитами.

**Оборудование и материалы:** датчик электропроводности; стаканы на 50 мл под номерами — 3 шт., в стаканах по 20 мг твёрдых веществ (сахар, хлорид натрия, винная или лимонная кислота\*); промывалка; мерный цилиндр на 50 мл; стеклянные палочки — 3 шт.; фильтровальная бумага; дистиллированная вода.

\* Учитель по своему усмотрению может изменить и расширить список веществ, выдаваемых ученикам для исследования.



### Инструкция

Отмерьте с помощью мерного цилиндра по 20 мл дистиллированной воды и прилейте в каждый стакан, где находится по 20 мг твёрдых веществ. Перемешайте полученные растворы. Для каждого раствора используйте свою палочку, не перепутайте.

Подключите датчик электропроводности к измерительному блоку и начните запись результатов измерений. В первый стакан погрузите датчик электропроводности. Когда показания прибора стабилизируются, запишите значение в таблицу ниже. Извлеките электрод, тщательно промойте его дистиллированной водой, протрите фильтровальной бумагой. Затем аналогично повторите измерения электропроводности двух оставшихся растворов.

### Оформление отчёта

Заполните таблицу.

№ пробы	Значение электропроводности, мкСм/см	Название выданного вещества
1.		
2.		
3.		

На основании полученных результатов сделайте вывод о силе исследуемых электролитов.

### Ответьте на вопросы

#### Задание для подготовки к ГИА, ВПР

Выберите в наборах из представленных электролитов сильный и слабый электролит.

- |   |                               |
|---|-------------------------------|
| 1) $\text{H}_2\text{SO}_4$ и $\text{K}_2\text{S}$                     | 4) $\text{HCl}$ и $\text{HI}$ |
| 2) $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ и $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ | 5) $\text{HCl}$ и $\text{HF}$ |
| 3) $\text{KOH}$ и $\text{KHF}_2$                                      |                               |

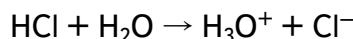
Ответ: 2, 5

### Лабораторный опыт:

#### «Зависимость концентраций ионов водорода от степени разбавления сильного и слабого электролита»

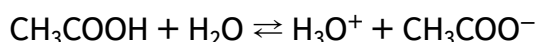
##### Теоретическое введение

Согласно теории электролитической диссоциации С. Аррениуса кислоты — это электролиты, при диссоциации которых в водной среде образуются протоны (ионы гидроксония  $\text{H}_3\text{O}^+$ ) и анионы кислотных остатков. Сильные кислоты в растворах практически полностью диссоциируют на ионы, обычно этот процесс отображают стрелкой в одном направлении:



При разбавлении раствора сильной кислоты в 10 раз рН уменьшается на величину, близкую к 1 (рис. 19).

Слабые кислоты на ионы распадаются лишь частично. В их растворах, наряду с ионами, присутствуют в подавляющем большинстве недиссоциированные молекулы. Процесс диссоциации (ионизации) идёт параллельно с обратным процессом (ассоциацией), при записи уравнения это отображают двумя противоположно направленными стрелками:





При уменьшении концентрации слабой кислоты возрастает её степень диссоциации, что приводит к переходу в раствор дополнительного числа ионов  $\text{H}_3\text{O}^+$ . Поэтому при разбавлении раствора слабой кислоты в 10 раз  $\Delta\text{pH} < 1$  (рис. 19).

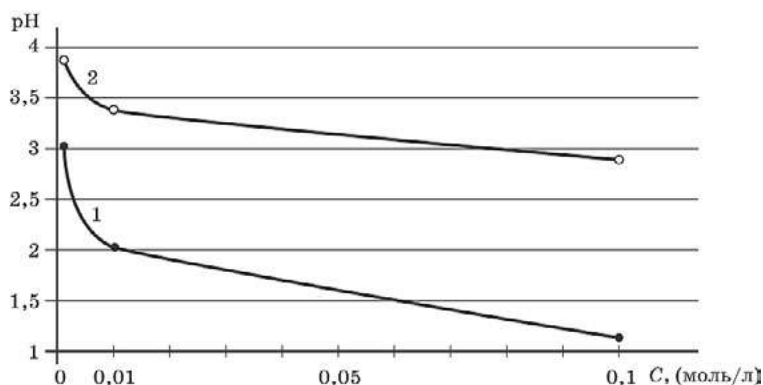


Рис. 19. Графики зависимости pH от концентрации кислоты в растворе при 25 °С: 1 — HCl; 2 — CH<sub>3</sub>COOH

### Практическая часть

**Цель опыта:** сравнить зависимость pH раствора от концентрации слабой и сильной кислоты.

**Оборудование и материалы:** комбинированный стеклянный электрод; промывалка с дистиллированной водой; фильтровальная бумага; стакан химический на 50 мл — 6 шт.; соляная кислота: 0,1М, 0,01М и 0,001М растворы, уксусная кислота: 0,1М, 0,01М и 0,001М растворы.

#### Техника безопасности

1. Соляная и уксусная кислоты — едкие вещества, следует избегать их попадания на кожу и одежду.

2. Беречь глаза!

#### Инструкция

В стакан налейте 20 мл 0,1М соляной кислоты. Опустите датчик pH. Наблюдайте за изменяющимся значением pH, записывайте те показания, которые сохраняются постоянными в течение нескольких секунд. Извлеките электрод из раствора, промойте дистиллированной водой. Капельки воды с электрода уберите кусочком фильтровальной бумаги.

Аналогичные действия проделайте с остальными растворами. Показания датчика занесите в таблицу.

#### Оформление отчёта

Заполните таблицу.

Концентрация HCl	0,1 моль/л	0,01 моль/л	0,001 моль/л
Значение pH			
Концентрация уксусной кислоты	0,1 моль/л	0,01 моль/л	0,001 моль/л
Значение pH			

#### Контрольные вопросы

1. Постройте график зависимости pH раствора от концентрации кислоты для сильного и слабого электролита. Сделайте вывод, сравнив полученные графики.





### 2. Задание для подготовки к ГИА, ВПР

1. Рассчитайте pH следующих водных растворов:

а) 0,1 М HCl; б) 0,1 М NaOH.

Ответ: без учёта ионной силы а)  $\text{pH} \approx 1$ ; б)  $\text{pH} \approx 13$ .

### 3. Задание для развития функциональной грамотности

Кислотность почвы, так же как и кислотность водных растворов, оценивают водородным показателем pH (ввёл в научный обиход в 1909 г. датский биохимик Сёрен Педер Лауриц Сёренсен), который измеряют, делая водную «вытяжку» (взбалтывают образец почвы массой 10 г с 10 мл воды и дают отстояться твёрдым частицам). Когда почва почти не содержит кислот (нейтральна), она хороша для моркови, белокочанной капусты, лука, чеснока, сельдерея, спаржи, редьки, репы, подсолнечника, а также смородины, сливы, вишни и яблони. При значении pH от 4 до 5 почва обладает слабой кислотностью. На такой почве неплохой урожай дают горох, фасоль, огурцы, редис, помидоры, салат, цветная капуста и шпинат. Какова молярная концентрация  $\text{H}^+$  в водной вытяжке такой слабокислой почвы?

Ответ:  $10^{-4}$ — $10^{-5}$  моль/л.

### Лабораторный опыт:

#### «Прямое кондуктометрическое определение концентрации соли в растворе»

##### Теоретическое введение

Методы определения концентрации электролитов в растворе, основанные на измерении электропроводности, называют *кондуктометрией* (от англ. *conductivity* — электропроводность и греч. *metreo* — измеряю). Прямая кондуктометрия основана на том, что в области разбавленных растворов электропроводность растёт с увеличением концентрации электролита. На практике используют метод калибровочного графика зависимости удельной электропроводности раствора от концентрации электролита. Затем определяют электропроводность анализируемого раствора и по графику находят концентрацию электролита.

Подробнее смотри в описании к уроку «Кондуктометрическое и потенциометрическое титрование».

##### Практическая часть

##### Цели опыта

а) построить график зависимости электропроводности раствора хлорида натрия от его концентрации в растворе;

б) по значению электропроводности определить концентрацию хлорида натрия в пробе раствора.

*Измеряемые параметры:* электропроводность.

*Оборудование и материалы:* датчик электропроводности; пробирки; мерный цилиндр на 50 мл; стеклянная палочка; промывалка; стакан на 400—600 мл (для слива); фильтровальная бумага; дистиллированная вода; 250 мл раствора хлорида натрия с концентрацией 0,01 моль/л.

##### Инструкция

В пробирки налейте растворы с известной концентрацией хлорида натрия (таблица 1).

В первую пробирку налейте дистиллированную воду, в шестую — выданный раствор хлорида натрия с концентрацией 0,01 моль/л.

В мерный цилиндр налейте 10 мл 0,01М раствора хлорида натрия и долейте дистиллированной воды до 50 мл. Перемешайте содержимое цилиндра стеклянной палочкой. По-



лучился раствор, разбавленный в 5 раз, т. е. с концентрацией NaCl 0,002 моль/л. Перелейте небольшой объем полученного раствора во вторую пробирку, оставшуюся часть вылейте в стакан для слива. Цилиндр ополосните дистиллированной водой.

Аналогично приготовьте растворы 0,004, 0,006 и 0,008 моль/л и разлейте их по соответствующим пробиркам (таблица 1.).

В пробирки, начиная с первой, по очереди погружайте электрод датчика электропроводности. Когда показания прибора стабилизируются, запишите их в таблице. Электрод извлеките из раствора, оботрите фильтровальной бумагой и перенесите в следующую пробирку.

По полученным результатам постройте график. Ось электропроводности разместите так, чтобы на засечках были круглые значения. Нижняя засечка на оси должна соответствовать нулю, верхняя — превышать максимальное измеренное значение.

В седьмую пробирку налейте выданную пробу. Измерьте её электропроводность, нанесите на график и определите концентрацию соли в выданном растворе.

### Данные для построения калибровочного графика и определения концентрации хлорида натрия в выданной пробе

№ пробирки	1	2	3	4	5	6	7
Концентрация соли, моль/л	0	0,002	0,004	0,006	0,008	0,01	
Объем 0,01М раствора, мл	—	10	20	30	40	—	—
Объем воды, мл	—	40	30	20	10	—	—
Электропроводность, мкСм/см							

#### Контрольные вопросы

##### 1. Задание для подготовки к ГИА, ВПР

При пропускании каких газов электрическая проводимость воды увеличится?

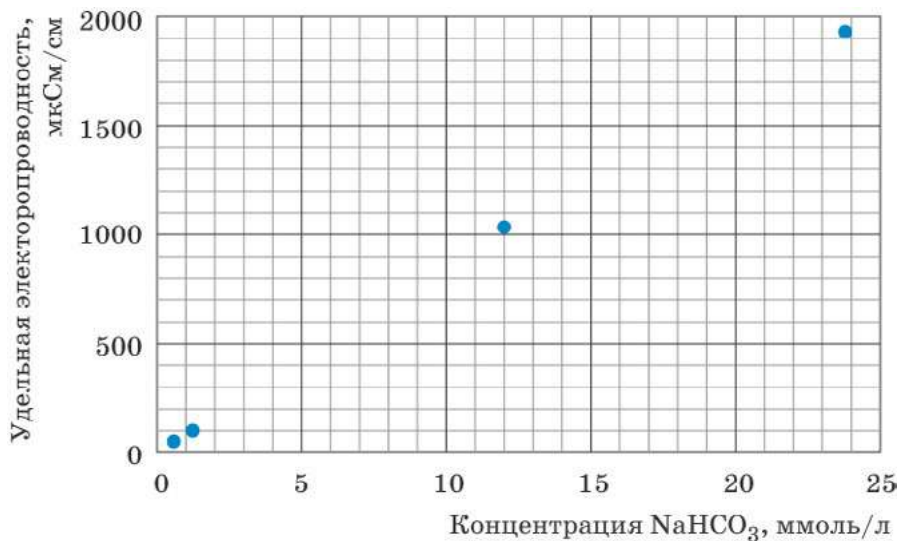
- 1) азот;
- 2) оксид азота (II)
- 3) оксид азота (IV)
- 4) кислород
- 5) аммиак

Ответ: 3, 5.

##### 2. Задание для развития функциональной грамотности

Применение пищевой соды, гидрокарбоната натрия, при лечении респираторных заболеваний помогает ускорить разжижение мокроты и вывести её из организма. Постепенно кашель переходит из сухого в продуктивный, улучшается процесс кровообращения, лёгкие насыщаются достаточным количеством кислорода.

Один из юных исследователей простудился. Врач рекомендовал ему принимать «щелочное питье» в виде 1%-го раствора гидрокарбоната натрия. Бабушка юного исследователя приготовила такой раствор «на глаз». Друзья исследователя решили проверить, соответствует ли содержание гидрокарбоната натрия в растворе, приготовленном бабушкой, рекомендациям врача. Для этого они приготовили растворы с определённой концентрацией гидрокарбоната натрия, измерили их удельную электропроводность. Результаты измерений представлены на рисунке ниже.



Удельная электропроводность раствора, приготовленного бабушкой, составила 820 мкСм/см.

Определите молярную концентрацию гидрокарбоната натрия в растворе, приготовленном бабушкой. Рассчитайте массовую долю соли в этом растворе, приняв его плотность равной 1 г/мл. Соответствует ли приготовленный раствор рекомендациям врача?

Решение:

Используя данные, представленные на рисунке, необходимо по экспериментальным точкам построить калибровочный график, который представляет собой прямую, выходящую из начала координат. По графику определить, какая концентрация соли соответствует удельной электропроводности 820 мкСм/см.

Концентрация NaHCO<sub>3</sub> в исследуемом растворе — 10 ммоль/л, т. е. в 1000 мл раствора содержится 10 миллимоль NaHCO<sub>3</sub>. Учитывая, что молярная масса гидрокарбоната натрия 84 г/моль, рассчитаем массовую долю соли в растворе:

$$\omega_{\text{NaHCO}_3} = \frac{0,01 \text{ моль} \cdot 84 \frac{\text{г}}{\text{моль}}}{1000 \text{ мл} \cdot 1 \frac{\text{г}}{\text{мл}}} = 8,4 \cdot 10^{-4} = 0,084\%$$

Раствор, приготовленный бабушкой, слишком разбавлен. Массовая доля соли в этом растворе занижена более чем в 10 раз.

### **Лабораторный опыт:**

#### **«Оптические свойства коллоидных растворов»**

##### Теоретическое введение

Для данного опыта можно использовать насыщенный раствор серы в этиловом спирте или 1%-й спиртовой раствор канифоли 0,05% раствор канифоли в этиловом спирте. Сера или канифоль ограниченно растворяются в этиловом спирте, образуя истинный раствор. Однако эти вещества практически не растворяются в воде. При замещении растворителя, т. е. при добавлении воды сера (или канифоль) выделяется из раствора, образуя коллоидный раствор. При прохождении света через коллоидный раствор происходит его рассеивание — эффект Фарадея—Тиндаля.

##### Практическая часть

*Цель опыта:* исследовать светорассеивание коллоидных растворов.

*Оборудование и материалы:* турбидиметр (датчик оптической мутности); кювета; дистиллированная вода; насыщенный раствор серы в этиловом спирте (готовится длительным настаиванием спирта над серой) или 1%-й спиртовой раствор канифоли.

*Техника безопасности*

Спиртовые растворы серы и канифоли — легковоспламеняющиеся вещества. При работе с ними не допускать появления открытого пламени.

*Инструкция*

В кювету турбидиметра налейте дистиллированную воду, настройте датчик. Добавьте 1—2 капли раствора серы или канифоли в этаноле. Наблюдайте изменение показаний оптической плотности раствора.

*Оформление отчёта:**Контрольные вопросы*

Как изменяется оптическая плотность системы при добавлении к дистиллированной воде раствора серы (канифоли) в этиловом спирте? Почему эти изменения происходят?

*Задания для подготовки к ГИА, ВПР*

1. Из перечня укажите дисперсные системы с твёрдой дисперсионной средой и твёрдой дисперсной фазой.

- 1) гранит
- 2) космическая пыль
- 3) пигментированные волокна
- 4) дым
- 5) пемза
- 6) рубиновое стекло

Ответ: 1, 3, 6.

2. Если капли одной жидкости распределены в среде другой жидкости, то такую систему называют

- 1) аэрозолем
- 2) эмульсией
- 3) суспензией
- 4) коллоидным раствором

Ответ: 2.

3. Укажите, какие вещества являются поверхностно-активными (ПАВ).

- 1) серная кислота;
- 2) стеарат натрия
- 3) бензол
- 4) хлорид натрия
- 5) изопропиловый спирт

Ответ: 2, 5.

4. Эффект Тиндаля наблюдается при пропускании пучка света через

- 1) дистиллированную воду
- 2) гидрозоль золота
- 3) раствор хлорида натрия
- 4) дым
- 5) очищенный воздух
- 6) эмульсию нефти в воде

Ответ: 2, 4, 6.

5. Истинный раствор от коллоидного отличается следующим признаком:

- 1) отсутствием границы раздела фаз
- 2) способностью проводить электрический ток



3) седиментационной неустойчивостью

4) высокой неоднородностью

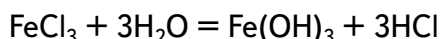
Ответ: 1.

### **Лабораторный опыт:**

#### **«Коагулирующее действие различных ионов»**

##### Теоретическое введение

Гидрозо́ль гидроксида железа (III) можно легко синтезировать методом конденсации в результате полного гидролиза  $\text{FeCl}_3$  при нагревании до  $100\text{ }^\circ\text{C}$ :



Гидролиз  $\text{FeCl}_3$  идёт интенсивно с образованием высокодисперсных нерастворимых в воде коллоидных частиц  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Устойчивость коллоидного раствора обеспечивается наличием на поверхности дисперсных частиц (мицелл) электрического заряда. При данном методе получения золя мицеллы имеют положительный заряд за счёт адсорбции на их поверхности катионов  $\text{Fe}^{3+}$ .

Коагуляцию, т. е. объединение, слипание коллоидных частиц, можно вызвать добавлением в золь растворов электролитов. Коагуляция с помощью электролитов широко используется для осаждения взвешенных частиц при водоочистке, обогащения минерального сырья, улучшения фильтрационных характеристик осадков. Коагулирующим действием в электролите обладают не все его ионы, а только те, заряд которых противоположен по знаку заряду мицелл. Эффективность коагулирующего действия электролитов увеличивается с возрастанием заряда коагулирующего иона (правило Шульце—Гарди).

Характерным признаком коагуляции является увеличение мутности раствора, поэтому исследование укрупнения частиц полученного гидрозоля гидроксида железа(III) удобно проводить с помощью турбидиметрического метода. При коагуляции размер твёрдых частиц дисперсной фазы увеличивается, соответственно возрастает оптическая плотность золя. Для полученного раствора удобно проводить измерения в турбидиметре.

Определённый объём раствора добавленного электролита вызывает быструю коагуляцию, при которой оптическая плотность золя достигает максимального значения и при дальнейшем добавлении электролита не изменяется.

С целью экономии учебного времени можно выдать ученикам готовый раствор гидрозоля, а бюретки заранее заполнить коагулянтами, 0,1М растворами  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

##### Практическая часть

*Цель опыта:* изучить коагулирующее действие различных ионов на гидрозо́ль гидроксида железа (III).

*Оборудование и материалы:* турбидиметр (датчик оптической мутности); кювета; стакан на 150 мл; электрическая плитка; коническая или плоскодонная колба на 250 мл; бюретки ёмкостью 25 мл — 3 шт.; мерная пробирка; фильтровальная бумага; промывалка; дистиллированная вода; 2%-й раствор хлорида железа (III); 0,1М растворы  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

##### *Техника безопасности*

При нагревании воды и во время приготовления коллоидного раствора следует остерегаться ожога.

##### *Инструкция*

Для получения гидрозоля  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  в колбу с 250 мл кипящей дистиллированной воды прилейте 10 мл раствора 2%-го хлорида железа (III). Образовавшийся золь красно-коричневого цвета охладите до комнатной температуры.



Три бюретки заполните 0,1М растворами NaCl, CaCl<sub>2</sub> и Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, которые будут служить коагулянтами.

В кювету датчика-турбидиметра налейте полученный коллоидный раствор, настройте датчик.

Из бюретки медленно, по 1—2 капле, добавляйте в гидрозоль Fe(OH)<sub>3</sub> раствор хлорида натрия и наблюдайте за изменениями показаний оптической плотности. Как только она начнёт резко возрастать, зафиксируйте объём прилитого раствора NaCl. Остановите измерения, вылейте полученную смесь, сполосните кювету дистиллированной водой и протрите её фильтровальной бумагой.

Аналогичные измерения повторите для растворов хлорида кальция и сульфата натрия.

*Оформление отчёта*

Заполните таблицу.

№ опыта	Коагулянт	Концентрация, моль/л	Пороговый объём электролита, мл
1.	Раствор NaCl	0,1	
2.	Раствор CaCl <sub>2</sub>	0,1	
3.	Раствор Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,1	

*Контрольные вопросы:*

1. Какой из исследованных электролитов является наиболее эффективным коагулянтом? Почему?

2. Предположите, какой заряд (положительный или отрицательный) имеют частицы в полученном коллоидном растворе. Какие экспериментальные данные позволяют вам обосновать такой вывод?

3. Необходимо осветлить природную воду, частички взвеси в которой имеют отрицательные электрические заряды. Какого вещества потребуется наименьшее количество: NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> или FeSO<sub>4</sub>? Свой ответ обоснуйте.

*Задания для подготовки к ГИА, ВПР*

1. Вставьте в текст пропущенные термины из предложенного перечня.

**А** — это система из двух или большего числа фаз с сильно развитой **Б** между ними. Обычно одна из фаз образует непрерывную **В**, в объёме которой распределена **Г** в виде мелких кристаллов, твёрдых аморфных частиц, капель или пузырьков.

ТЕРМИНЫ:

- |                        |                        |
|------------------------|------------------------|
| 1) аэрозоль            | 4) дисперсная система  |
| 2) диспергирование     | 5) дисперсная фаза     |
| 3) дисперсионная среда | 6) поверхность раздела |

А	Б	В	Г

Ответ: 4, 6, 3, 5.

2. Вставьте в текст пропущенные термины из предложенного перечня.

**А** — объединение частиц **Б** в агрегаты вследствие сцепления при их соударениях. Соударения происходят в результате **В**. Характерные признаки **А**: увеличение мут-



ности, появление хлопьевидных образований (флокул), Г исходно устойчивой к седиментации системы (коллоидного раствора) с выделением Б в виде коагулята (осадка, сливок).

ТЕРМИНЫ:

- |                         |                            |
|-------------------------|----------------------------|
| 1) броуновское движение | 4) коагуляция              |
| 2) дисперсная фаза      | 5) расслоение              |
| 3) дисперсионная среда  | 6) эффект Фарадея—Тиндалля |

А	Б	В	Г

Ответ: 4, 2, 1, 5

### 5. Задание для развития функциональной грамотности

Используя различные информационные источники и привлекая знания о дисперсных системах, предложите ответы на следующие вопросы:

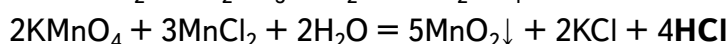
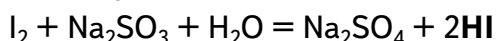
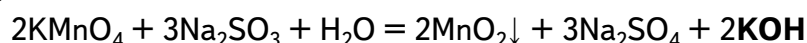
1. Какие процессы лежат в основе очистки питьевой воды на станциях водоподготовки? На каком этапе добавляют коагулянты (флокулянты)? Какие вещества используют в качестве коагулянтов на станциях водоподготовки?
2. Как можно очистить воду в бассейне, если она «зацвела»?
3. Почему древние цивилизации возникали в дельтах рек?

### Лабораторный опыт:

#### «Изменение pH в ходе окислительно-восстановительных реакций»

#### Теоретическое введение

Окислительно-восстановительные реакции, протекающие в водных растворах, часто сопровождаются изменением водородного показателя, так как среди продуктов может быть как кислота, так и щелочь:



Настоящая работа носит исследовательский характер. Измерение pH и анализ полученных величин позволяет обучающимся установить направленность протекания изучаемых окислительно-восстановительных процессов.

#### Практическая часть

**Цель опыта:** на основании анализа изменения pH установить направленность протекания изучаемых окислительно-восстановительных процессов.

**Оборудование и материалы:** датчик pH; 8 стаканов на 50 мл; штатив с зажимом и кольцом; промывалка; дистиллированная вода; по 20 мл 0,1М растворов иодида калия, перманганата калия, иода I<sub>2</sub> с иодидом калия, сульфита натрия, хлорида марганца(II), хлорида железа(III).

#### Техника безопасности

1. Перманганат калия — сильный окислитель!
2. Избегайте его попадания на кожу, если попадёт, то промойте водой, протрите место попадания ваткой с разбавленным раствором щавелевой кислоты, а затем тщательно вымойте руки с мылом.



### Инструкция

Закрепите датчик pH в зажиме штатива. В двух стаканах подготовьте растворы реагентов для одной реакции (см. табл.). Погрузите датчик pH в раствор первого реагента не менее чем на 3 см. Когда показания стабилизируются, запишите значение pH. Тщательно ополосните датчик, особенно его чувствительный элемент, дистиллированной водой и погрузите в раствор второго реагента. Запишите значение pH после стабилизации показаний прибора.

Не вынимая датчика из раствора второго реагента, прилейте в стакан раствор первого реагента. Наблюдайте изменение значений pH. После того как величина pH перестанет изменяться, запишите её значение в таблицу.

Тщательно промойте датчик и аналогично повторите измерения с оставшимися парами реагентов.

### Оформление отчёта

Заполните таблицу.

№ опыта	Раствор 1-го реагента		Раствор 2-го реагента		pH после смешивания	Наблюдения	Уравнение реакции
	Формула	pH	Формула	pH			
1	KMnO <sub>4</sub>		Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>				
2	I <sub>2</sub>		Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>				
3	KMnO <sub>4</sub>		MnCl <sub>2</sub>				
4	KI		FeCl <sub>3</sub>				

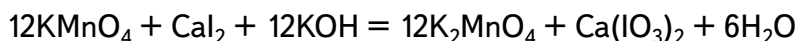
### Контрольные вопросы

Составьте уравнения исследуемых окислительно-восстановительных реакций. Объясните изменения pH при их протекании.

### Задания для подготовки к ГИА, ВПР

Предлагается перечень следующих веществ: перманганат калия, иодид кальция, фторид серебра, гидроксид калия, ацетат аммония. Допустимо использование водных растворов веществ. Выберите вещества, окислительно-восстановительная реакция между которыми сопровождается изменением цвета раствора. Запишите уравнение этой реакции, составьте электронный баланс, укажите окислитель и восстановитель.

Решение:



KMnO<sub>4</sub> — окислитель за счёт Mn<sup>+7</sup>

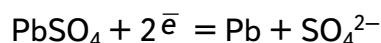
CaI<sub>2</sub> — восстановитель за счёт I<sup>-1</sup>

### Лабораторный опыт:

#### «Работа свинцового аккумулятора»

#### Теоретическое введение

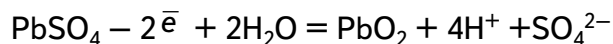
При опускании свинцовых пластинок в раствор серной кислоты на их поверхности образуется осадок малорастворимого сульфата свинца. При подключении постоянного тока на электродах протекают электрохимические реакции. На отрицательном электроде (во время зарядки аккумулятора он является катодом):





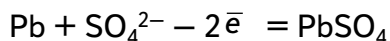


На положительном электроде (во время зарядки аккумулятора он является анодом):

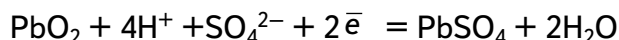


Происходит так называемая зарядка аккумулятора.

При присоединении к электродам лампочки или другого прибора, потребляющего электрический ток, происходит разрядка аккумулятора, образование на электродах сульфата свинца. На отрицательном полюсе (во время разрядки он является анодом):



На положительном полюсе (во время разрядки — катоде):



Таким образом, процессы зарядки и разрядки аккумулятора являются обратимыми и их можно многократно повторять.

### Практическая часть

*Цель опыта:* изучить процесс работы свинцового аккумулятора, понимать, какие реакции протекают при его зарядке и разрядке.

*Оборудование и материалы:* датчик напряжения; источник питания лабораторный; стакан на 200—400 мл; 2 свинцовые пластины с прикреплёнными отводами; лампочка 2,5 В; 100 мл 20—25% раствора серной кислоты.

### *Техника безопасности*

1. Серная кислота едкое вещество. Берегитесь ожога!
2. Свинец и его соединения — токсичные вещества. При работе с ними необходимо соблюдать аккуратность!
3. После работы необходимо тщательно вымыть руки с мылом.

### *Инструкция*

Налейте в стакан 100 мл раствора серной кислоты и опустите в него две свинцовые пластинки. Замкните на несколько секунд отводы от пластинок. Присоедините к отводам пластинок датчик напряжения. Запишите значение напряжения в тетради.

Присоедините к отводам источник постоянного тока (6 В) и пропускайте ток в течение 2—3 мин. Отключите ток. Снова присоедините к отводам датчик напряжения. Запишите его значение. Присоедините к отводам лампочку. Что наблюдаете?

### *Оформление отчёта*

#### *Контрольные вопросы*

1. Запишите уравнение, отражающие суммарный процесс зарядки и разрядки свинцового аккумулятора.
2. Каково значение ЭДС собранного вами свинцового аккумулятора?
3. *Задания для подготовки к ГИА, ВПР*
  1. Установите соответствие между схемой реакции и свойством, которое проявляет элемент свинец в этой реакции.

### СХЕМА РЕАКЦИИ

- А)  $\text{PbS} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{PbSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$   
Б)  $\text{PbO} + \text{CO} \rightarrow \text{Pb} + \text{CO}_2$   
В)  $\text{PbO}_2 + \text{HCl} \rightarrow \text{PbCl}_2 + \text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O}$

### СВОЙСТВО СВИНЦА

- 1) не изменяет степень окисления
- 2) и окислитель, и восстановитель
- 3) только окислитель
- 4) только восстановитель

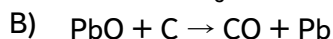
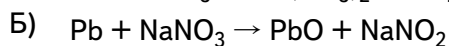
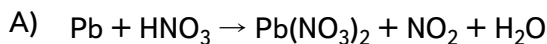
А	Б	В



Ответ: 1, 3, 3.

2. Установите соответствие между схемой реакции и формулой вещества — восстановителя.

СХЕМА РЕАКЦИИ



ФОРМУЛА ВОССТАНОВИТЕЛЯ

1) Pb

2) C

3)  $\text{NaNO}_3$

4)  $\text{HNO}_3$

5) PbO

А	Б	В

Ответ: 1, 1, 2.

### Неорганическая химия

#### Лабораторный опыт:

#### «Сравнительное определение растворимости галогенидов серебра»

#### Теоретическое введение

Сильные электролиты диссоциируют в водном растворе практически полностью. Среди этих электролитов есть хорошо растворимые вещества и малорастворимые. Последние также образуют насыщенные растворы. Растворимость количественно можно определить, измерив электропроводность насыщенного раствора исследуемого электролита.

Из галогенидов серебра наибольшую растворимость имеет фторид серебра. Это вещество растворимо в воде. Растворимость хлорида серебра существенно меньше. Это вещество уже относится к нерастворимым в воде веществам. Наименьшую растворимость из рассматриваемых галогенидов имеет иодид серебра.

Вещества, относящиеся к нерастворимым, в какой-то пусть очень малой мере растворяются в воде. Количественно это оценивается с помощью величины, называемой произведением растворимости — ПР. ПР равно произведению молярных концентраций образовавшихся в растворе ионов, например:

$$\text{ПР}_{\text{AgCl}} = [\text{Ag}^+] \cdot [\text{Cl}^-].$$

Произведения растворимости  $\text{AgCl}$  и  $\text{AgI}$  отличаются в среднем на 6 порядков (см. табл.).

#### Произведения растворимости галогенидов серебра

Формула галогенида	$\text{AgCl}$	$\text{AgBr}$	$\text{AgI}$
ПР <sup>1</sup>	$1,78 \cdot 10^{-10}$	$5,3 \cdot 10^{-13}$	$8,3 \cdot 10^{-17}$

В насыщенном растворе хлорида серебра концентрация ионов серебра  $\text{Ag}^+$  достаточна для того, чтобы с иодид-ионами образовался осадок иодида серебра.

#### Практическая часть

*Цель опыта:* сравнить растворимость хлорида, бромида и иодида серебра.

*Оборудование и материалы:* датчик электропроводности; стакан на 150 мл — 3 шт.; шпатель — 3 шт.; магнитная мешалка; дистиллированная вода; фильтровальная бумага;

<sup>1</sup> Лурье Ю. Ю. Справочник по аналитической химии. М.: Химия, 1971. С. 94—95.



тщательно отмытые от примесей сухие порошки хлорида серебра, бромида серебра, иодида серебра; раствор иодида калия 5%.

#### Инструкция

В стакан налейте примерно 100 мл дистиллированной воды, измерьте её электропроводность. Для этого опустите в воду датчик электропроводности и дождитесь, пока показания не стабилизируются. В воду добавьте немного (примерно 0,1 г) тонкоизмельчённого хлорида серебра. Поставьте стакан на магнитную мешалку и включите её. Наблюдайте за изменением электропроводности раствора. Когда значение электропроводности станет постоянным, занесите значение электропроводности в таблицу отчёта. Промойте электрод дистиллированной водой и просушите фильтровальной бумагой.

Повторите опыт, используя бромид серебра и затем иодид серебра. Уберите электрод.

В стакан с насыщенным раствором хлорида серебра, находящемся над осадком  $\text{AgCl}$ , прилейте 2—3 мл раствора иодида калия.

#### Оформление отчёта

Заполните таблицу.

Исследуемая жидкость	Дистиллированная вода	Насыщенный раствор		
		$\text{AgCl}$	$\text{AgBr}$	$\text{AgI}$
Электропроводность, мкСм/см				

#### Контрольные вопросы:

1. Расположите галогениды серебра в порядке уменьшения их растворимости. Обоснуйте своё решение.

2. Какие изменения произошли с раствором и осадком при добавлении раствора иодида калия к насыщенному раствору хлорида серебра, находящемуся в равновесии с твёрдым  $\text{AgCl}$ ?

#### Задания для подготовки к ГИА, ВПР

Одновременно в растворе в значительных концентрациях не могут находиться ионы

- 1)  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$
- 2)  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$
- 3)  $\text{K}^+$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{Li}^+$
- 4)  $\text{H}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Br}^-$
- 5)  $\text{K}^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$

Ответ: 2, 4.

#### Лабораторный опыт:

##### «Взаимодействие гидроксида бария с серной кислотой»

##### Теоретическое введение

Растворы гидроксида бария и серной кислоты являются сильными электролитами. При их взаимодействии образуется нерастворимый сульфат бария. Поэтому при титровании раствора гидроксида бария раствором серной кислоты происходит уменьшение электропроводности исходного раствора. В точке эквивалентности электропроводность раствора будет минимальной. Это позволяет провести нейтрализацию раствора без использования внешних индикаторов. Такой приём титрования называется кондуктометрическим. Он часто используется при титровании мутных и интенсивно окрашенных растворов, когда применение индикаторов невозможно.

При дальнейшем добавлении раствора серной кислоты (даже одной капли) происходит резкое увеличение электропроводности раствора. Происходит так называемый ска-



чок титрования. Поэтому при приближении к точке титрования кислоту нужно приливать отдельными каплями.

### Практическая часть

*Цель опыта:* исследовать особенности протекания реакции нейтрализации.

*Оборудование и материалы:* датчик электропроводности; стакан на 50 мл; штатив с зажимом; промывалка; магнитная мешалка; бюретка; дистиллированная вода; 30 мл 0,1М раствора серной кислоты; 20 мл 0,1М раствора гидроксида бария.

### *Инструкция*

В стакан налейте 20 мл раствора гидроксида бария. Поместите стакан на магнитную мешалку. Опустите в стакан датчик электропроводности, закреплённый в лапке штатива. Наблюдайте за изменением значения электропроводности. Когда показания электропроводности перестанут изменяться, запишите значение рН в тетрадь.

Включите магнитную мешалку. В течение нескольких секунд прилейте из бюретки раствор серной кислоты объёмом около 20 мл. Наблюдайте за изменением значения электропроводности. Прибавьте избыток серной кислоты (несколько капель).

### *Оформление отчёта*

#### *Контрольные вопросы*

1. Какими электролитами (слабыми или сильными) являются серная кислота и гидроксид бария? На основе каких критериев вы это определили?

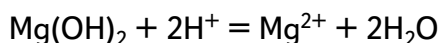
2. Какие внешние признаки указали на то, что между гидроксидом бария и серной кислотой происходит химическое взаимодействие? Запишите уравнение реакции в молекулярном и ионно-молекулярном виде.

3. Как с помощью датчика электропроводности определить окончание данной реакции нейтрализации? Можно ли воспользоваться данными критерием при проведении любой реакции нейтрализации?

4. Как меняется электропроводность раствора по мере прибавления раствора серной кислоты? Чему равна электропроводность раствора при добавлении эквивалентного раствора серной кислоты? Как изменилась электропроводность после прибавления избытка кислоты? Почему?

#### *5. Задания для подготовки к ГИА, ВПР*

1. Сокращённое ионное уравнение:

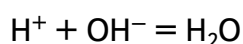


соответствует взаимодействию гидроксида магния

- |                        |                              |
|------------------------|------------------------------|
| 1) с соляной кислотой  | 4) с сероводородом           |
| 2) с угольной кислотой | 5) с иодоводородной кислотой |
| 3) с уксусной кислотой |                              |

Ответ: 1, 5.

2. Сокращённому ионному уравнению:



соответствуют взаимодействия:

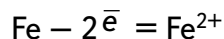
- |  |   |
|--|---|
| 1) $\text{NH}_4\text{Cl}$ и $\text{KOH}$     | 4) $\text{H}_2\text{SO}_4$ и $\text{Ba}(\text{OH})_2$ |
| 2) $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и $\text{HNO}_3$ | 5) $\text{H}_2\text{SO}_4$ и $\text{NaOH}$            |
| 3) $\text{Cu}(\text{OH})_2$ и $\text{HCl}$   |   |

Ответ: 2, 5.

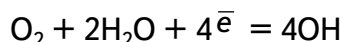


**Лабораторный опыт:**  
**«Окисление железа во влажном воздухе»**  
Теоретическое введение

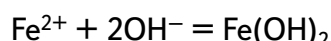
Разрушение металлов и сплавов в результате протекания на их поверхности электрохимических реакций называется электрохимической коррозией. При электрохимической коррозии на поверхности железа протекают одновременно два процесса: окисление металла — анодный процесс:



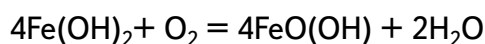
и восстановление окислителя — катодный процесс:



В воде ионы железа  $\text{Fe}^{2+}$  взаимодействуют с гидроксид-ионами, образуя нерастворимый гидроксид железа (II):



Кислород воздуха окисляет часть гидроксида железа  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  и получается метагидроксид железа  $\text{FeO}(\text{OH})$ :



Смесь метагидроксида железа  $\text{FeO}(\text{OH})$  с гидроксидом железа(II) образуют так называемую ржавчину — бурый рыхлый порошок. Как видно из уравнений реакций, коррозия протекает в присутствии кислорода.

При контакте железа с менее активным металлом создаётся гальваническая пара, в которой более активный металл (Fe) начинает интенсивно окисляться. Скорость реакций растёт, увеличивается и скорость потребления кислорода.

Практическая часть

*Цель опыта:* исследовать процесс электрохимической коррозии железа на воздухе.

*Оборудование и материалы:* датчик давления, датчик кислорода; колба плоскодонная объёмом 500 мл — 2 шт., порошок восстановленного железа, порошок меди.

*Инструкция*

В плоскодонную колбу прилейте 3—4 мл воды и встряхиванием смочите стенки колбы водой. Закройте колбу пробкой с газоотводной трубкой и присоедините прибор к датчику давления и к датчику кислорода. Настройте датчики. Откройте колбу, всыпьте в неё 5—6 г порошка железа и быстро закройте колбу пробкой. Ещё раз встряхните колбу, чтобы порошок равномерно распределился по стенкам колбы. Следите за изменениями объёма газа в течение 4—5 мин.

Повторите эксперимент, взяв вместо чистого порошка железа смесь порошков меди и железа. Как изменилась скорость реакции окисления? Как изменилось давление воздуха в колбе за 4—5 мин? Как изменилось содержание кислорода?

*Оформление отчёта*

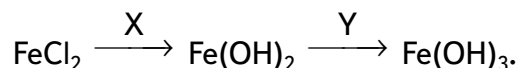
Заполните таблицу.

№ опыты	Состав твёрдой фазы	Давление газа, кПа		Объёмная доля кислорода, %	
		к началу опыта	через 5 минут	к началу опыта	через 5 минут
1	Железо				
2	Железо + медь				



### Контрольные вопросы

1. Как изменяется количество вещества газа во время эксперимента? Почему?
2. Количество вещества какого газа изменяется в изучаемом процессе?
3. Будут ли происходить изменения количества газа, если порошок железа насыпать в сухую колбу?
4. Как наличие меди влияет на скорость окисления железа? Ответ обоснуйте.
5. Запишите уравнение реакции окисления железа кислородом воздуха в присутствии воды.
6. *Задания для подготовки к ГИА, ВПР*
  1. Задана следующая схема превращений веществ:



веществами X и Y соответственно являются

- |                           |                 |
|---------------------------|-----------------|
| 1) $\text{Cu(OH)}_2$      | 4) $\text{H}_2$ |
| 2) $\text{H}_2\text{O}_2$ | 5) KOH          |
| 3) CO                     |                 |

X	Y

Ответ: 5, 2.

### Роль химии в жизни человека

#### Лабораторный опыт:

#### «Исследование растворов хозяйственного и туалетного мыла, синтетических моющих средств»

##### Теоретическое введение

Основу хозяйственного или туалетного мыла составляют натриевые или калиевые соли карбоновых кислот, например стеарат натрия  $\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COONa}$ . Состав мыла определяет его сорт. Так, например, хозяйственное мыло содержит не более 72% жирных кислот и около 0,15—0,20% свободной щелочи — гидроксида натрия. Вследствие этого мыло имеет высокое значение pH — от 11 до 12.

Туалетное мыло также состоит из натриевых солей карбоновых кислот, но в отличие от хозяйственного мыла содержит меньше свободной щелочи. В состав туалетного мыла входят различные добавки: красители, отдушки и другие вещества. Для производства туалетного мыла используют более высококачественное сырьё. Туалетное мыло при его использовании меньше сушит и обезжиривает кожу. Это также связано с pH раствора мыла.

Синтетические моющие средства (СМС) — детергенты — многокомпонентные композиции. Основой большинства СМС являются органические поверхностно-активные вещества (ПАВ) сложного состава, например лаурилсульфат натрия  $\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{OSO}_3\text{Na}$ . Большинство стиральных порошков содержат отбеливатели, отдушки, активаторы. Для связывания ионов жёсткости ( $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ ) используются комплексообразователи, например триполифосфат натрия  $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ , осадители, например,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ . Эти вещества определяют pH растворов стиральных порошков.

С целью сокращения времени, отведённого на выполнение данного опыта, целесообразно выдать ученикам готовые растворы моющих средств.



### Практическая часть

**Цель опыта:** на основании анализа результатов измерения pH растворов различных моющих средств сделать вывод об их эксплуатационных свойствах.

**Оборудование и материалы:** датчик pH; 3 стакана на 150 мл; дистиллированная вода; промывалка; хозяйственное мыло; туалетное мыло; синтетические моющие средства различного назначения.

#### Техника безопасности

После проведения опыта нужно тщательно промыть pH электрод.

#### Инструкция

Кусочек хозяйственного мыла массой ~0,5 г растворите в 50 мл дистиллированной воды. В полученный раствор мыла опустите комбинированный стеклянный электрод. Дождитесь стабилизации показаний прибора, занесите результат измерения pH исследуемого раствора в таблицу. Электрод тщательно промойте дистиллированной водой.

Аналогичные действия выполните с другими моющими средствами. При анализе жидких моющих средств берут ~1 мл СМС и растворяют его в 50 мл воды.

#### Оформление отчёта

Заполните таблицу.

	Хозяйственное мыло	Туалетное мыло	Стиральный порошок	Жидкое моющее средство
pH раствора				

#### Контрольные вопросы

1. Какое мыло предпочтительней использовать для умывания? С чем это связано?
2. Запишите уравнение гидролиза стеарата натрия, карбоната натрия и силиката натрия.
3. *Задание для подготовки к ГИА, ВПР*  
Установите соответствие между названием соли и средой раствора этой соли.

#### НАЗВАНИЕ СОЛИ

- А) стеарат натрия
- Б) олеат калия
- В) сульфат бутиламмония
- Г) сульфат калия

#### СРЕДА РАСТВОРА

- 1) нейтральная
- 2) кислая
- 3) щелочная

А	Б	В	Г

Ответ: 3, 3, 2, 1.



## Перечень тем учебно-исследовательской и проектной деятельности школьников

Развитие проектной деятельности, формирование элементов исследовательской культуры — одна из актуальных задач современного этапа развития школьного образования. В преподавании естественных наук, и в частности в химии, основная задача — повышение устойчивости познавательной мотивации школьников. Необходимо их научить выявлять проблемы, формулировать цели, разрабатывать алгоритмы поиска решения, объяснять полученные результаты, делать выводы.

Успех в этом направлении возможен, если акценты в учебном процессе перенести на организацию творческой, исследовательской и коллективной деятельности, ориентировать обучающихся на развитие и саморазвитие. При совместной работе над учебным проектом коренным образом изменяются роли учителя и ученика, в полной мере реализуется принцип педагогики сотрудничества. Школьник перестаёт быть объектом обучающей активности учителя, он становится полноправным субъектом процесса обучения, поскольку для решения поставленной задачи действия по образцу недостаточно, ему необходимо проявить инициативу в поиске, освоении и применении новых знаний.

### ПОМОЩЬ УЧИТЕЛЮ

#### Примерные темы проектных работ:

1. Приборы для демонстрационного химического эксперимента своими руками.
2. Химия в сказках.
3. Мифы и легенды химии.
4. Занимательные химические опыты.
5. Электрохимическая коррозия металлов, способы защиты от неё.
6. Выращивание кристаллов из растворов различными методами.
7. Проектирование экологически безопасного химического источника тока.
8. Определение оптимальных условий для фермента (например, пероксидазы, уреазы), выделенного из животных или растительных объектов.
9. Получение пирогаллола из танина, выделенного из растительного сырья.
10. Определение качества сливочного масла методом тонкослойной хроматографии.
11. Определение содержания пальмового масла в продуктах питания.
12. Определение качества мёда различными методами.
13. Получение нано- и микрочастиц парамагнетиков и иммобилизация на их поверхности некоторых веществ, придающих окраску.
14. Получение наночастиц золота и исследование их свойств.
15. Получение наночастиц металлического никеля, их биотоксичность.
16. Получение замещённых фенилоксалатов для приготовления хемилюминесцентных составов.
17. Поиск оптимального метода для количественного определения важных показателей (например, концентрация ионов  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) аквариумной воды.
18. Анализ смывных вод после применения средств для мытья посуды.
19. Утилизация щелочных гальванических элементов питания, выработавших свой ресурс.
20. Синтез реактивов для школьной лаборатории из продуктов переработки щелочных элементов питания.





21. Количественный анализ биологически активных соединений, выделенных из плодов черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*).
22. Влияние условий освещённости на содержание нитратов в листьях укропа (*Anethum graveolens* L.).
23. Влияние йода на развитие проростков овса посевного (*Avena sativa* L.).
24. Гуппи (*Poecilia reticulata* Peters) как биомаркеры водоёмов, загрязнённых антигололёдными реагентами.
25. Применение гальванопластики для фиксации природных биообъектов.
26. Синтез и изучение свойств соединений меди  $\text{Cu}^{+2}$  и  $\text{Cu}^{+}$ .
27. Эффективность бытовых фильтров для очистки питьевой воды.
28. Коагуляционные методы очистки воды в искусственных водоёмах.



## Перечень доступных источников информации

1. Беспалов П. И., Дорофеев М. В., Оржековский П. А., Жилин Д. М., Зими́на А. И. Использование цифровых лабораторий при обучении химии в средней школе. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. 229 с.
2. Браун Т., Лемей Г. Ю. Химия — в центре наук: в 2 ч. / пер. с англ. М.: Мир, 1983.
3. Глинка Н. Л. Общая химия: учеб. пособие для вузов / под ред. А. И. Ермакова. М.: Интеграл-Пресс, 2002. 728 с.
4. Гроссе Э., Вайсмантель Х. Химия для любознательных. Основы химии и занимательные опыты. Л.: Химия, 1985. 392 с.
5. Дорофеев М. В., Беспалов П. И. Изучение скорости химической реакции с использованием цифровой лаборатории // Химия в школе. 2011. № 8. С. 43—50.
6. Жуков А. Ф., Колосова И. Ф., Кузнецов В. В. и др. Аналитическая химия. Физические и физико-химические методы анализа: Учеб. для вузов / под ред. О. М. Петрухина. М.: Химия, 2001. 496 с.
7. Зайцев О. С. Неорганическая химия: учеб. для 10 (11) кл. общеобразоват. учреждений с углубл. изуч. предмета и с изуч. предмета на профильном уровне. М.: АСТ-Пресс Школа. 2006. 509 с.
8. Леенсон И. А. Как и почему происходят химические реакции. Элементы химической термодинамики и кинетики. Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2010. 224 с.
9. Леенсон И. А. Рассказы о химической кинетике. Рассказ пятый. Уравнение скорости // Химия и жизнь. 1972. № 6. С. 50—51.
10. Лунин В. В., Дроздов А. А., Кузьменко Н. Е., Еремин В. В. Химия. 11 класс: учеб.: углубл. уровень. ФГОС. М.: Дрофа, 2020. 480 с.
11. Медведев Ю. Н. Зависимость скорости реакции от температуры, или Кто прав: Вант-Гофф или Аррениус // Химия в школе. 2010. № 8. С. 49—55.
12. Медведев Ю. Н. Скорость и механизмы химических реакций // Химия в школе. 2010, № 6. С. 57—63; 2010, № 7. С. 44—50.
13. Менделеев Д. И. Заветные мысли. М.: Мысль, 1995. 414 с.
14. Осипова Е. А. Электроаналитические методы и проблема охраны окружающей среды. / Соросовский образовательный журнал. Т. 7. 2001. №2. С. 47—54.
15. Полторак О. М. Современные теории химии и изучение химии в школе // Соросовский Образовательный Журнал. 1995. №1. С. 50—56.
16. Пузаков С. А., Машнина Н. В., Попков В. А. Химия. 10 класс: учеб. для общеобразоват. организаций: углубл. уровень. М.: Просвещение, 2021. 320 с.
17. Пузаков С. А., Машнина Н. В., Попков В. А. Химия. 11 класс: учеб. для общеобразоват. организаций: углубл. уровень. М.: Просвещение, 2021. 320 с.
18. Степин Б. Д., Аликберова Л. Ю. Книга по химии для домашнего чтения. — М.: Химия, 1994. 400 с.
19. Шведене Н. В. Ионоселективные электроды // Соросовский Образовательный Журнал. 1999, № 5. С. 60—65.
20. Энциклопедия для детей. Том 17. Химия. М.: Аванта+, 2000. 640 с.



**Дорофеев** Михаил Юрьевич

**Реализация образовательных программ по химии  
с использованием оборудования детского технопарка  
«Школьный кванториум» 10—11 классы  
(углубленный уровень)**

Центр Естественно-научного и математического образования  
Руководитель Центра *З. Г. Гапонюк*  
Ответственный за выпуск *Е. В. Синдрякова*  
Редактор *О. С. Малышева*  
Художественный редактор *Т. В. Глушкова*  
Компьютерная вёрстка и техническое редактирование *О. С. Ивановой*  
Корректор *И. В. Андрианова*