

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»

Составитель
Ю. А. Винидиктова

СТРОЕНИЕ И РЕАКЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ ВЕЩЕСТВ

Методические материалы к лабораторным работам

Рекомендованы учебно-методической комиссией
направления подготовки 18.03.01 Химическая технология
в качестве электронного издания
для использования в образовательном процессе

Кемерово 2025

Рецензенты:

Ченская В. В. – кандидат химических наук, доцент кафедры химической технологии неорганических веществ и наноматериалов

Пучков С. В. – кандидат химических наук, председатель учебно-методической комиссии направления подготовки бакалавров 18.03.01 Химическая технология

Юлия Александровна Винидиктова

Строение и реакционная способность веществ : методические материалы к лабораторным работам для обучающихся направления подготовки 18.03.01 Химическая технология / Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева ; кафедра химической технологии неорганических веществ и наноматериалов ; составитель: Ю. А. Винидиктова. – Кемерово, 2025. – 1 файл (1264 Кб). – Текст : электронный.

Методические материалы содержат информацию об организации лабораторных занятий и описание ряда лабораторных работ по дисциплине «Строение и реакционная способность веществ». Приведены методические рекомендации по выполнению лабораторных работ, а также перечень вопросов для проверки знаний дисциплины.

© Кузбасский государственный
технический университет
имени Т. Ф. Горбачева, 2025
© Винидиктова Ю. А.,
составление, 2025

Оглавление

Правила поведения в химической лаборатории.....	3
Лабораторная работа 1.....	4
Лабораторная работа 2.....	8
Лабораторная работа 3.....	13
Лабораторная работа 4.....	20
Лабораторная работа 5.....	29
Лабораторная работа 6.....	34
Лабораторная работа 7.....	41
Лабораторная работа 8.....	64
Список рекомендуемой литературы	72

Правила поведения в химической лаборатории

Программа по учебной дисциплине «Строение и реакционная способность веществ» предполагает выполнение студентами лабораторных работ. Работа в химической лаборатории продуктивна в том случае, если она выполняется сознательно, с пониманием теоретического материала. Отсутствие аккуратности и внимания у студентов может привести не только к искажению результатов эксперимента, но и к несчастным случаям. Поэтому при работе в химической лаборатории следует придерживаться следующих правил:

1. В химической лаборатории запрещается принимать пищу, пить, трогать приборы и проводить опыты, не относящиеся к лабораторной работе.

2. Рабочее место содержите в чистоте, не загромождайте его предметами, не относящимися к данной работе, в том числе книгами и тетрадями.

3. Соблюдайте тишину.

4. Растворы и вещества для химических реакций необходимо брать в таком количестве, как указано в описании. Неизрасходованные или взятые в избытке реактивы нельзя сливать обратно в склянки (следует сливать в емкости для слива).

5. Лабораторная работа выполняется либо индивидуально, либо подгруппой из нескольких человек.

6. К выполнению эксперимента приступайте, изучив его теоретическое содержание, уяснив цель и ход опыта. Результаты опыта отразите в лабораторном отчете.

7. Отчет о работе оформляется в тетради, где указывается название лабораторной работы, ее цель, дата выполнения. В отчет заносят: схемы установок, теоретические сведения, расчетные формулы, уравнения реакций, графики, вычисления, а также выводы.

8. После окончания лабораторной работы вымойте посуду и тщательно уберите рабочее место.

Лабораторная работа 1

Тема: Энергетические уровни и спектры атомов

Цель работы: 1. Определить экспериментальным путём характеристическое излучение атома в возбуждённом состоянии.

2. Определить, каким переходом наружного электрона обусловлен характеристический цвет излучения.

Приборы и реактивы

Оборудование: держатели, спиртовка, стеклянная палочка.

Реактивы: хлориды лития, натрия, кальция, стронция, бария.

Спектры свободных атомов в газообразном состоянии называются атомными спектрами. Они состоят из ограниченного числа спектральных линий, каждая из которых характеризуется определенной длиной волны. Так, желтое окрашивание пламени газовой горелки при испарении в нем соли натрия обуславливается характеристической линией спектра натрия $\lambda = 589,3$ нм.

Атомы в возбужденном состоянии испускают световые излучения, характеризующиеся спектральными линиями. При нагревании атома электрическим зарядом его электроны приобретают избыточную энергию и переходят на более высокие энергетические уровни (возбужденное состояние атома). В возбужденном состоянии электроны находятся короткое время (10^{-7} – 10^{-8} с), далее они возвращаются на низкие энергетические уровни и при этом излучают энергию в виде спектральных линий.

На примере атома лития на рис. 1. показаны энергетические уровни вероятных перескоков наружных s-электронов в возбужденном состоянии на нижние уровни.

Избыточная энергия электронов ΔE равна разности энергии электронов на высшем E_v и низшем E_n уровнях.

Согласно уравнению М. Планка, $E = h \cdot \nu$, где h – постоянная Планка ($h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж/с); ν – частота излучения; $\nu = c/\lambda$, где $c = 3 \cdot 10^8$ мс⁻¹, отсюда $\Delta E = hc / \lambda$.

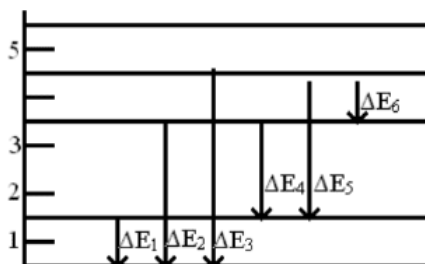


Рис. 1. Энергетические уровни вероятных перескоков наружного электронов возбужденном состоянии и соответствующие энергии

Избыточная энергия электронов ΔE равна разности энергии электронов на высшем $E_{\text{в}}$ и низшем $E_{\text{н}}$ уровнях.

Согласно уравнению М. Планка, $E = h \cdot \nu$, где h – постоянная Планка ($h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж/с); ν – частота излучения; $\nu = c / \lambda$, где $c = 3 \cdot 10^8$ мс⁻¹, отсюда $\Delta E = hc / \lambda$.

Для щелочных и щелочноземельных металлов длина излучаемых электронами электромагнитных волн находится в пределах длин волн видимого света. В табл. 1 приведены энергии квантовых уровней, на которые возможен перескок наружного электрона s-элементов в возбужденном состоянии.

Таблица 1

Энергия наружных электронов s-элементов на различных энергетических уровнях

Атомы	ΔE_1^*	E_2^*	E_3^*	E_4^*	E_5^*	E_6^*
H	10,15	12,03	12,69	13,16	13,26	13,59
Li	1,84	2,87	3,90	4,50	4,95	5,39
Na	3,03	3,55	4,07	4,59	5,11	5,14
K	1,27	2,54	3,07	3,61	4,14	4,34
Sr	2,48	4,38	4,54	4,71	4,98	5,69
Ba	2,99	3,74	4,13	4,52	4,92	5,81

Вычислите:

1. Энергию перехода электрона ΔE_N как разницу между энергиями возбужденного $E_{\text{в}}$ и основного $E_{\text{н}}$ состояний ($\Delta E_N = E_{\text{в}} - E_{\text{н}}$), пользуясь данными табл. 1.

2. Длину волны λ_N , соответствующую каждому переходу, рассчитайте по формуле

$$\lambda_N = 1240,8 / \Delta E_N$$

3. Определите цвет излучения, соответствующий рассчитанной длине волны, согласно табл. 2.

Таблица 2

Значения длин волн и соответствующий им цвет
в видимой области спектра

λ , нм	Цвет	λ , нм	Цвет
390-410	Фиолетовый	540-580	Желтый
420-450	Синий	580-610	Оранжевый
470-530	Зеленый	620-780	Красный

4. Оформите полученные данные в виде таблицы

$\Delta E_N = E_B - E_H$	$\lambda_N = 1240,8 / \Delta E_N$	Цвет излучения

Выполнение работы. В фарфоровые чашки насыпьте небольшие количества сухих солей щелочных и щелочноземельных металлов, смочите их спиртом. Подожгите спирт. Наблюдайте за изменением цвета пламени, помня, что спирт при горении дает голубовато-желтое пламя. Зафиксируйте окраску пламени, полученную экспериментально.

Сопоставьте данные эксперимента и расчета и определите, каким переходам электронов обусловлено наблюдаемое характерное излучение.

Вариант	1	2	3	4	5
Соль	LiCl	NaCl	KCl	SrCl ₂	BaCl ₂

Контрольные вопросы

1. Какое квантовое состояние атомов называется основным (нормальным)? возбужденным?
2. В каком случае квантовое состояние атома будет с более высоким уровнем энергии?
3. Сколько энергетических уровней имеет атом?
4. Правильно ли утверждение, что атом имеет одно основное и много возбужденных квантовых состояний?

5. Как графически изображают переход электрона из одного квантового состояния в другое? Покажите это на примерах атомов щелочных и щелочноземельных элементов.

6. Каким соотношением определяется энергия электронного перехода ΔE в спектрах излучения? в спектрах поглощения?

7. Почему элементы аналоги окрашивают пламя в разные цвета?

8. Объясните энергетическую диаграмму атома натрия и ее отличие от энергетической диаграммы атома водорода

9. В чем суть двойственной природы микрочастиц?

10. Какими физическими явлениями подтверждается двойственная природа фотонов света?

11. Какими физическими явлениями подтверждается двойственная природа электрона?

12. Сколько протонов и нейтронов содержит ядро атома элемента...?

13. Атомы каких элементов имеют на внешнем уровне электронную конфигурацию ...?

14. Какова максимальная ёмкость... подуровня?

15. Какая последовательность расположения орбиталей соответствует порядку заполнения их электронами?

16. Какие квантовые числа полностью характеризуют энергию электрона? Электронную орбиталь?

17. Сколько ... (s , p , d или f) орбиталей имеются на ... (номер) энергетическом уровне?

18. Сколько валентных электронов у атома, электронная формула которого имеет вид ...?

19. Какие значения квантовых чисел n и ℓ характеризуют валентные электроны атома ...?

Лабораторная работа 2

Тема: Строение и химические свойства элементов. Периодическая таблица Менделеева

Цель работы: научиться устанавливать взаимосвязь строения атомов и структуры Периодической системы с химическими свойствами элементов.

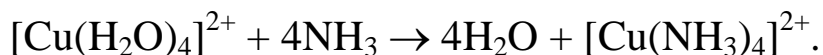
Приборы и реактивы

Оборудование: пробирки, пипетки, стеклянные палочки, полоски фильтровальной бумаги.

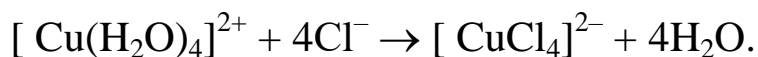
Растворы и реактивы: серной кислоты (конц., 0,5 н.); хлороводородной кислоты (конц.); аммиака (25%-й); сульфата меди(II) (0,5 н.); сульфита натрия (0,5 н.); йодида калия (0,5 н.); сульфата калия (0,5 н.); хромата калия (0,5 н.); крахмала; этиловый спирт, цинк (гранулы).

Опыт 1. Энергетические уровни и спектры атомов. Окраска соединений меди(II)

Выполнение работы. В две пробирки внесите пипеткой по 2–3 капли раствора сульфата меди(II). Отметьте цвет исходного раствора, который обусловлен присутствием комплексных катионов тетрааквамеди (II) $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$. В одну из пробирок добавляйте по каплям 25%-й раствор аммиака до получения устойчивого изменения цвета раствора, что свидетельствует об образовании нового соединения, содержащего комплексный катион тетрааминмеди(II) $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$:



В другую пробирку приливайте по каплям концентрированной хлороводородной кислоты до получения устойчивого изменения цвета раствора, что указывает на образование нового комплексного иона меди(II) – тетрахлорокупрат(II)-аниона $[\text{CuCl}_4]^{2-}$. Протекает реакция по схеме:



Запись данных опыта. Перепишите формулы комплексных ионов меди(II), укажите их цвет. Напишите электронную и электронно-структурную формулу валентного уровня иона меди(II). Можно ли объяснить изменение окраски исходного раствора меди(II) изменением энергии $3d$ -подуровня в новых комплексных ионах?

Опыт 2. Валентные электроны и валентные орбитали

2.1. Взаимодействие концентрированной серной кислоты с цинком

Выполнение работы. В пробирку поместите кусочек цинка и налейте 1–2 мл концентрированной серной кислоты. Захватив пробирку держателем, нагрейте (**осторожно!**) её нижнюю часть. При взаимодействии кислоты с активными металлами продуктами восстановления могут быть диоксид серы, свободная сера и сероводород:



Образование сероводорода обнаружите, поднеся к отверстию пробирки полоску фильтровальной бумаги, смоченную раствором нитрата свинца. Почернение бумаги свидетельствует о выделении сероводорода. Тяжелый газ диоксида серы собирается в пробирке в виде белого тумана. Свободная сера образует на стенках пробирки осадок желтого цвета.

Запись данных опыта. Перепишите уравнения реакций взаимодействия цинка с концентрированной серной кислотой, укажите окислитель и восстановитель. Какие орбитали называются валентными у атомов цинка и серы? Напишите электронно-графические конфигурации S^{2-} , S^0 , S^{+4} , S^{+6} . Почему и в каких пределах изменяется строение валентного уровня атома серы?

Опыт 3. Размеры атомов, ионов и свойства соединений

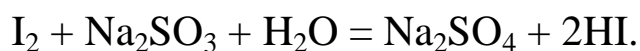
3.1. Получение йодида меди(I)

Выполнение работы. Внесите в пробирку по две капли растворов сульфата меди(II) и йодида калия. Отметьте образование осадка и окрашивание содержимого пробирки в желтый цвет. Превращению веществ соответствует уравнение реакции:



Докажите с помощью раствора крахмала, что желтая окраска обусловлена выделением свободного йода. Для этого прикоснитесь концом стеклянной палочки к полученному раствору, затем опустите палочку в другую пробирку с 5-6 каплями раствора крахмала и наблюдайте появление синего окрашивания.

Для определения цвета выпавшего осадка йодида меди(I) необходимо свободный йод, маскирующий цвет осадка, перевести в бесцветный йодид-ион. Прибавьте в пробирку несколько капель раствора сульфита натрия до исчезновения желтой окраски. Данному окислительно-восстановительному процессу соответствует уравнение реакции:



Запись данных опыта. Перепишите уравнения реакций, отметьте цвет осадка йодида меди(I). Отметьте закономерности изменения радиусов с изменением электронных конфигураций и степеней окисления элементов (Таблица 1). Укажите окислители и восстановители в вышеприведенных уравнениях реакций. У окислителя или у восстановителя больше радиус иона? В какой степени окисления ионы способны только отдавать электроны? присоединять электроны?

Таблица 1

Размеры атомов и ионов некоторых элементов

Атом, ион	Радиус, нм
Cu	0,117
Cu ¹⁺	0,096

Атом, ион	Радиус, нм
Cu^{2+}	0,072
I^0	0,133
I^{1-}	0,220
S^{2-}	0,184
S^0	0,104
S^{4+}	0,037
S^{6+}	0,030

Техника безопасности

Во время работы соблюдайте следующие правила: обеспечьте рабочее место средствами нейтрализации и оказания первой помощи. Опыты по окрашиванию пламени и с концентрированными кислотами выполняйте в вытяжном шкафу. Кислоты сливайте в специальные емкости. Соблюдайте аккуратность и осторожность при работе со всеми химическими реактивами.

Контрольные вопросы

1. Какова электронная формула атома?
2. Какой из элементов относится к (*s*, *p*, *d* или *f*) семейству?
3. Атомы какого элемента ... (номер) периода имеют ... (число) *s*-, *p*- или *d*-электронов на ... (номер) уровне?
4. В чем причина периодичности изменения свойств элементов с позиций современной теории строения атома?
5. Каковы взаимосвязи между положением элемента в ПСЭ и электронной конфигурацией его атома?
6. Каков характер изменения металлических и неметаллических свойств элементов по периодам и подгруппам?
7. Как изменяются восстановительные (окислительные) свойства атомов по периоду и подгруппе?
8. Напишите электронные формулы атомов водорода, кислорода и йода. Укажите число неспаренных электронов в атомах кислорода и йода.

9. Какой элемент имеет в атоме три электрона, для каждого из которых $n = 3$ и $\ell = 1$? Чему равны для них значения магнитного квантового числа? Должны ли они иметь антипараллельные спины?

10. Чему равно максимальное число электронных слоев в атомах элементов периодической системы Д.И. Менделеева?

11. Покажите на примере, как при заполнении электронных оболочек действуют принцип Паули и правило Гунда. Дайте формулировку этого правила.

12. Какие квантовые числа определяют размер, форму и ориентацию в пространстве электронного облака?

13. Структура валентного слоя атома элемента выражается формулой $[\text{Ar}] 3d^3 4s^2$. Определите номер периода, номер группы, порядковый номер и название элемента.

14. Как современная теория атомов объясняет структуру периодов?

15. Какова современная формулировка Периодического закона Д. И. Менделеева?

16. Почему в спектре атома водорода много линий, хотя атом водорода имеет один электрон?

17. На каком основании хром и сера расположены в одной группе периодической системы? Почему их помещают в разных подгруппах?

Лабораторная работа 3

Тема: Химическая связь. Состав, строение и реакционная способность соединений.

Цель работы: научиться устанавливать взаимосвязи между строением атома и составом, геометрией и реакционной способностью молекул.

Приборы и реактивы

Прибор для обнаружения электропроводности, прибор для получения этилена, электроплитка, спиртовка, асбестовая сетка, газоотводная трубка, стеклянные палочки.

Растворы: хлорида кальция (0,5 н.), хлорида стронция (0,5 н.), хлорида бария (0,5 н.), сульфата натрия (0,5 н.), карбоната натрия (0,5 н.), нитрата свинца (0,5 н.), йодида калия (0,5 н.), сульфида натрия (0,5 н.), сахара (0,1 М), аммиака (0,1 М), гидроксида натрия (0,1 М), хлорида натрия (0,1 М), бромная вода. Кислоты: уксусная (0,5 н.), (0,1 М), хлороводородная (конц.), (2 н.), (0,1 М), серная (конц.).

Сухие вещества: сульфат аммония, гашеная известь.

Опыт 1. Степень перекрывания и прочность химической связи

1.1. Получение сульфатов щелочноземельных металлов

Выполнение работы. В три пробирки внесите по 3 капли растворов солей: в первую – соли кальция, во вторую – соли стронция, в третью – соли бария. В каждую пробирку добавьте по 3–4 капли раствора сульфата натрия. В каком случае осадок образовался быстрее? В какой пробирке осадка выпало больше? Сделайте вывод о растворимости сульфатов элементов второй группы главной подгруппы.

Запись данных опыта. Напишите в молекулярном и ионном виде уравнения реакций образования сульфатов кальция, стронция, бария. Укажите закономерность изменения радиуса по подгруппе. Какой ион в большей степени поляризуется? В каком полученном сульфате прочнее связь? В каком – больше доля ковалентной связи? Какое вещество переводит исходные соединения в активное состоя-

ние? Как называются такие вещества? Участвуют ли они в химической реакции? Выпадет ли в осадок сульфат магния?

1.2. Взаимодействие карбоната натрия с кислотами

Выполнение работы. В две пробирки внесите по 5 капель раствора карбоната натрия и 3–5 капель в одну – уксусной кислоты, в другую – хлороводородной кислоты. Что происходит?

Запись данных опыта. Напишите в молекулярном и ионном виде уравнения реакций карбоната натрия с кислотами. В каком случае реакция протекает быстрее? В какой из кислот прочнее химическая связь? В какой из кислот связь поляризуется под действием полярных молекул воды и образуется раствор сильного электролита? Какие ионы в реакциях переходят в более связанное состояние?

Опыт 2. Способы перекрывания атомных орбиталей. Образование σ - и π -связи

2.1. Получение этилена

Выполнение работы. Налейте в пробирку 1–1,5 мл этилового спирта и 5 мл концентрированной серной кислоты. Укрепите пробирку в штативе, закройте ее пробкой с газоотводной трубкой, которую опустите в пробирку с бромной водой (Br_2), нагрейте на асбестовой сетке. Пропускайте этилен 1–2 мин, затем пробирку с бромной водой и этиленом закройте пробкой, энергично встряхните и наблюдайте обесцвечивание бромной воды.

Запись данных опыта. Запишите уравнения реакций: а) получение этилена (реакция дегидратации этилового спирта); б) взаимодействие этилена с бромом. Нарисуйте перекрывание атомных орбиталей в молекуле этилена. Какие связи образуются между атомами углерода? Какая связь в этилене слабее? Изменится ли кратность связи $\text{C}-\text{C}$ (углерод–углерод), если этилен превратится в ацетилен? Укажите связи в ацетилене. Объясните различие в свойствах σ - и π -связей. Укажите максимально возможное число σ - и π -связей в молекулах. Чем это объясняется?

Опыт 3. Свойства ковалентной связи. Реакционная способность молекул

3.1. Насыщаемость и направленность связи

Выполнение работы. Из открытых склянок концентрированных растворов аммиака и хлороводородной кислоты выделяются соответственно молекулы аммиака NH_3 и хлороводорода HCl . Поднесите друг к другу стеклянные палочки, смоченные этими растворами, и наблюдайте образование белого дыма хлорида аммония.

Запись данных опыта. Напишите уравнение реакции соединения аммиака и хлороводорода. Обоснуйте состав молекул аммиака и хлороводорода. Приведите схему образования молекулы NH_3 из атомов. Укажите механизм образования химической связи в этих молекулах. Нарисуйте пространственное строение молекулы аммиака NH_3 . Чему равна валентность азота в аммиаке? Почему валентный угол HNN в ней меньше тетраэдрического?

В каком случае образуется валентно-ненасыщенная молекула? В каком – валентно-насыщенная частица? Какая из них имеет меньшую энергию? Какая из них химически активна? Почему? По какому механизму образуется ион аммония NH_4^+ ? Чему равна валентность азота в ионе аммония? Почему валентный угол в ионе аммония HNN равен тетраэдрическому? Исходя из строения валентного уровня, обоснуйте максимальную валентность атома азота. Укажите тип гибридизации АО в молекуле NH_3 и ионе NH_4^+ . Равноценны ли связи в ионе аммония? При образовании какой связи (σ - или π -связи) происходит гибридизация АО? Какой вид связи оказывает влияние на пространственное строение частиц?

Какой тип химической связи образуется между атомами хлора и водорода в молекуле хлороводорода и в молекуле хлорида аммония? В какой из них больше доля ковалентной связи? В какой – больше доля ионной связи? В какой из молекул HCl или NH_3 связь легче поляризуется при их взаимодействии?

Опыт 3.2. Поляризуемость связи

Выполнение работы. Поочередно наполните стакан 0,1 М растворами сахара, аммиака, уксусной кислоты, хлорида натрия, гидроксида натрия, хлороводородной кислоты. Опустите в него электроды, включите прибор для определения электропроводности

в электрическую цепь. После каждого измерения промойте стакан и электроды сначала водопроводной водой, а затем дистиллированной. Внесите в стакан растворы аммиака и уксусной кислоты в соотношении 1:1, перемешайте чистой палочкой, проверьте электропроводность. Увеличилась ли электропроводность полученного раствора по сравнению с исходными растворами аммиака и уксусной кислоты? Почему?

Запись данных опыта. Отметьте, какие растворы проводят электрический ток. В каких растворах электропроводность больше? Почему? Запишите уравнение реакции раствора аммиака (гидроксида аммония) с хлороводородной кислотой. Какой продукт реакции диссоциирует? Какие вещества относятся к сильным электролитам? Какие – к слабым электролитам? В каких веществах большая доля ионной связи? Почему? Почему вещества в растворах диссоциируют в разной степени? В каких веществах химическая связь легче поляризуется? Влияет ли радиус иона и его заряд на поляризуемость связи? На какие вещества и с какими связями молекулы воды оказали больше поляризующее действие?

Опыт 4. Свойства ионной химической связи

4.1. Получение нерастворимых соединений свинца

Выполнение работы. Сливая попарно растворы солей, получите в результате обменной реакции между ними в осадке хлорид, иодид и сульфид свинца. Отметьте цвет осадков.

Запись данных опыта. Напишите уравнения реакций получения нерастворимых соединений свинца. В области неорганической химии найдена зависимость, за некоторыми исключениями, между окраской веществ и ионным характером связи между атомами в их составе. Уменьшение в различии природы атомов, а следовательно, ослабление ионного характера связи способствуют появлению и усилению окраски веществ.

В каком из полученных соединений ионный характер связи выражен более сильно? Ответ обоснуйте, используя размеры ионов ($r(\text{Pb}^{2+}) = 0,120$, $r(\text{Cl}^-) = 0,181$, $r(\text{I}^-) = 0,220$, $r(\text{S}^{2-}) = 0,182$ нм), их электроотрицательность и способность к поляризуемости, произведения растворимости веществ: $\text{ПР}(\text{PbCl}_2) = 2 \cdot 10^{-5}$, $\text{ПР}(\text{PbI}_2) = 8 \cdot 10^{-9}$, $\text{ПР}(\text{PbS}) = 1 \cdot 10^{-27}$. В каком соединении прочнее связь? Влияет ли за-

ряд иона на величину электростатического притяжения? Почему ионная связь не обладает такими особенностями как насыщаемость и направленность? Могут ли быть соединения с чисто ионной связью? Какое свойство ионной связи приводит к частичному перекрыванию АО?

Техника безопасности

При работе в химической лаборатории необходимо знать и строго соблюдать установленные правила. Не допускайте попадания химических реактивов на кожу и одежду.

Особую осторожность соблюдайте при работе с концентрированными кислотами и щелочами. Работайте с ними в вытяжном шкафу, окна которого должны быть открыты не более чем на одну треть.

При нагревании или кипячении жидкости в пробирке держите ее отверстием от себя и работающих рядом. Работы с нагревательными приборами проводите в вытяжном шкафу.

Сухие реактивы берите только чистым шпателем и в минимальных количествах.

Рабочее место содержите в чистоте и порядке, не загромождайте его посторонними предметами.

Контрольные вопросы

1. Почему достаточно устойчивые и стабильные нейтральные атомы стремятся образовать более сложные системы-молекулы?
2. Каковы механизмы образования химической связи?
3. Изобразите перекрывание АО при образовании σ - и π -связей.
4. Почему молекула BF_3 способна присоединить фторид F^- с образованием комплексного иона $[\text{BF}_4]^-$?
Донором или акцептором электронов она является?
5. Почему молекула NH_3 является донором электронов в комплексном ионе $[\text{NH}_4]^+$?
6. Почему молекулы NH_3 и BH_3 имеют одинаковый состав? Одинаков ли тип гибридизации АО центрального атома в этих молекулах?
7. Чему равна максимальная валентность и степень окисления атома азота?

8. Какими свойствами обладает ковалентная связь? Показать на примерах.

9. Поляризуемость химической связи. Влияет ли это свойства связи на реакционную способность молекул? Какая молекула более активная HF или HCl в водных растворах?

10. В молекуле гидроксида натрия NaOH более полярна связь Na–O, а в серной кислоте (гидроксид серы (VI)) $(\text{HO})_2\text{SO}_2\text{--O--H}$. Какой гидроксид проявляет основные, а какой – кислотные свойства?

11. Почему атом бора B может проявлять валентности равные трём или четырём? Атом алюминия проявляет, кроме перечисленных, валентность равную шести $[\text{AlF}_6]^{3-}$?

12. Исходя из характера перекрывания АО можно ли считать σ - и π -связи энергетически равноценными? Какая из них легче разрывается при химическом взаимодействии молекул? Почему?

13. Чем было вызвано появление теории гибридизации АО и каковы ее основные положения?

14. Чем объясняется несимметричная форма гибридных орбиталей и почему она выгодна для образования ковалентной связи?

15. Определите валентность серы и фосфора в основном и возбужденном состоянии.

16. Почему валентность азота определяют в основном состоянии?

17. Укажите механизм образования связей в ионе гидроксония H_3O^+ . Какую валентность имеет кислород в этом ионе?

19. Можно ли по величине валентных углов судить о наличии гибридизации орбиталей при образовании связей? Объясните и подтвердите примерами.

20. С учетом одного из важнейших свойств ковалентной связи – ненасыщаемости, предложите доводы, согласно которым существуют частицы CH_4 , NH_3 , NH_4^+ , но не образуются CH_5^+ и NH_5^{2+} ?

21. Используя понятие о донорно-акцепторном механизме, составьте схемы образования частиц BF_4^- и NH_3^+ . Сформулируйте понятие о валентности. Укажите валентность бора в частицах BF_3 , BF_4^- и азота – в NH_3 , NH_2^- , NH_4^+ .

22. Объясните причины, по которым ХС в молекуле F_2 менее прочная, чем связь в молекуле Cl_2 . Что общего и чем отличаются донорно-акцепторный и дативный механизмы образования химиче-

ской связи? Может ли по донорно-акцепторному механизму образоваться π -связь?

23. Что называют поляризуемостью ковалентной связи? Какие частицы могут играть роль внешнего электрического поля?

24. Влияет ли поляризуемость химической связи на реакционную способность молекул? Какая из них химически активна с большей или меньшей поляризуемостью связи?

25. Какую связь называют ионной? Почему она является предельным случаем ковалентной связи? Почему ионная связь не обладает насыщаемостью и направленностью, но такое свойство, как поляризуемость, ей присуще?

Лабораторная работа 4

Тема работы: Химическая связь. Поляризуемость химической связи и свойства однотипных соединений

Цель работы: научиться устанавливать взаимосвязи между строением атома, поляризуемостью связи и химическими свойствами веществ.

Приборы и реактивы

Прибор для получения диоксида углерода, прибор для обнаружения электропроводности, пробирки, нейтральный раствор лакмуса, универсальная индикаторная бумага, мрамор.

Растворы: соляной кислоты (0,5 н.), серной кислоты (0,5 н.), фосфорной кислоты (0,5 н.), сульфата натрия (0,5 н.), сульфата магния (0,5 н.), сульфата алюминия (0,5 н.), силиката натрия (0,5 н.), ортофосфата натрия (0,5 н.), дихлорида олова (0,5 н.), тетрахлорида олова (0,5 н.), нитрата свинца (0,5 н.), сульфита натрия (0,5 н.), карбоната натрия (0,5 н.), гидроксида натрия (0,5 н.), аммиака (0,1 М), хлорида натрия (0,1 М), уксусной кислоты (0,1 М).

Опыт 1. Диссоциация веществ. Электропроводность водных растворов

Выполнение работы. Поочередно наполните стакан 0,1 М растворами аммиака, уксусной кислоты, хлорида натрия, гидроксида натрия, хлороводородной кислоты. Опустите в него электроды, включите прибор для определения электропроводности в электрическую цепь. После каждого измерения промойте стакан и электроды сначала водопроводной водой, а затем дистиллированной.

Результаты опыта занести в табл.1.

Таблица 1

Электропроводность растворов

Раствор	Яркость горения лампочки		Примечание
	ярко	слабо	
NaCl			
NaOH			
HCl			
NH ₃ (NH ₄ OH)			
CH ₃ COOH			

Какие вещества относятся к сильным электролитам? Какие – к слабым электролитам? В каких веществах большая доля ионной связи? Почему? Почему вещества в растворах диссоциируют в разной степени? В каких веществах химическая связь легче поляризуется? Влияет ли радиус иона и его заряд на поляризуемость связи? На какие вещества и с какими связями молекулы воды оказали больше поляризующее действие?

Таблица 2

Обсуждение результатов и вывод

Раствор	Яркость горения лампочки	Количество ионов		Тип электролита	
		много	мало	сильный	слабый
NaCl					
NaOH					
HCl					
NH ₃ (NH ₄ OH)					
CH ₃ COOH					

На основании результатов опыта и знаний о свойстве ХС – поляризуемости, сделайте вывод о типах электролитов.

Опыт 2. Поляризуемость химической связи гидроксидов***Опыт 2.1. Поляризующая способность катионов элементов 3-го периода и кислотно-основные свойства их гидроксидов***

Выполнение работы. В четыре пробирки налейте по 10 капель нейтрального раствора лакмуса. В первую пробирку добавьте 2–3 капли 0,5 н. раствора NaOH, во вторую – столько же 0,5 н. раствора H₃PO₄, в третью – столько же 0,5 н. раствора H₂SO₄, четвертую пробирку оставьте для сравнения. Пробирки осторожно встряхните. По изменению окраски индикатора сделайте вывод о реакции среды (щелочная, кислая). Отметьте окраску лакмуса в щелочной, кислой и нейтральной средах. На присутствие каких ионов в каждом случае указывает цвет лакмуса?

Результаты опыта внесите в табл. 3.

Изобразите структурные формулы гидроксидов.

Сделайте вывод о поляризуемости связей Э-¹O-²H в водных растворах гидроксидов. В каких гидроксидах связь (1) или связь (2)

легко поляризуется и разрывается *под действием полярных молекул воды, придавая им кислотные или основные свойства?* Отражают ли схемы диссоциации веществ свойство химической связи – поляризуемость?

Таблица 3

Свойства растворимых в воде гидроксидов

Гидроксид	Окраска лакмуса	Среда	Присутствуют ионы		Схема диссоциации
		кислая/ щелочная	H^+	OH^-	
NaOH					
H_3PO_4 , $PO(OH)_3$					
H_2SO_4 , $SO_2(OH)_2$					

Кислотно-основные свойства нерастворимых гидроксидов изучают на свежеполученных осадках. В двух пробирках реакцией обмена получите нерастворимый гидроксид магния. Для этого внесите в пробирки по 2–3 капли 2 н. раствора соли магния и добавляйте к ним по каплям (до начала выпадения осадка) 0,5 н. раствор щелочи. После каждого прибавления пробирку осторожно встряхивайте для перемешивания реагентов. В одну пробирку к полученному осадку прибавьте 0,5 н. раствор хлороводородной кислоты, в другую – 0,5 н. раствор щелочи. В какой пробирке растворился осадок? О каком свойстве гидроксида магния это свидетельствует? Таким же способом получите осадки гидроксида алюминия и гидроксида кремния (кремниевую кислоту) и исследуйте их кислотно-основные свойства. Сделайте вывод о кислотно-основных свойствах гидроксидов алюминия и кремния.

Результаты опыта внесите в табл. 4.

Изобразите структурные формулы гидроксидов. Сделайте вывод о поляризуемости связей $\overset{\ominus}{O}-\overset{+}{H}$ под поляризующим действием ионов H^+ и OH^- . В каких гидроксидах связь (1) или (2) легко поляризуется и разрывается под влиянием ионов H^+ ? Какие свойства гидроксиды проявляют? Какая связь (1 или 2) поляризуется в гидроксидах с кислотными свойствами? И какой ион (H^+ и OH^-) оказывает на нее поляризующее действие?

Таблица 4

Свойства нерастворимых в воде гидроксидов

Гидроксид	Растворяется в растворе		Схема диссоциации по типу	
	кислоты	щелочи	кислотно-му	основному
$\text{Mg}(\text{OH})_2\downarrow$				
$\text{Al}(\text{OH})_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}\downarrow$				
$\text{H}_2\text{SiO}_3, \text{SiO}(\text{OH})_2\downarrow$				

Напишите молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций: получения нерастворимых в воде гидроксидов, их взаимодействия с кислотой и раствором щелочи, учитывая, что в щелочной среде катион алюминия образует комплексный анион $[\text{Al}(\text{OH})_4(\text{H}_2\text{O})_2]^-$.

Почему формулы гидроксидов записывают по-разному? Какие свойства хотят этим показать, обратить внимание, подчеркнуть, выделить.

Обсуждения некоторых факторов, оказывающих влияние на изменение кислотно-основных свойств гидроксидов по периоду.

Покажите закономерность изменения свойств (увеличиваются, уменьшаются) ионов и гидроксидов элементов 3 периода. Объясните причины этих изменений.

элемент	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl
валентные электроны	...	...	...	...	...	...	...
радиус атома							
ион элемента	Na^+	Mg^{2+}	Al^{3+}	Si^{4+}	P^{+5}	S^{+6}	Cl^{+7}
электронное строение	...	...	...	...	...	...	...
радиус иона							
электроотрицательность							

гидроксид	NaOH	Mg(OH) ₂	Al(OH) ₃	H ₂ SiO ₃	H ₃ PO ₄	H ₂ SO ₄	HClO ₄
поляризующая способность катиона элемента
поляризуе- мость связи О-Н							
степень ковалентной связи Э-О							
прочность связи Э-О							
степень ковалент-ности связи О-Н							
прочность связи О-Н							
кислотно- основные свойства							

Сделайте общий вывод о влиянии радиуса, заряда, электроотрицательности, поляризуемости химической связи на силу основания и кислоты. Напишите уравнения диссоциаций сильного основания и сильной кислоты. Назовите самое слабое основание и очень слабую кислоту.

Опыт 2.2. Поляризующая способность катионов элементов IV группы главной подгруппы и кислотно-основные свойства их гидроксидов

Выполнение работы. Раствор угольной кислоты получите следующим образом: приготовьте пробирку с нейтральным раствором лакмуса (6–10 капель). В другую пробирку положите 3–4 маленьких кусочка мрамора. Укрепите пробирку вертикально, внесите в нее 15 капель 4 н. раствор хлороводородной кислоты. Быстро за-

кройте пробирку газоотводной трубкой. Конец трубки опустите в пробирку с нейтральным раствором лакмуса и пропускайте газ 2–3 мин. Отметьте изменение окраски лакмуса и реакцию среды (кислая, щелочная). На присутствие каких ионов указывает индикатор?

Кисотно-основные свойства нерастворимых гидроксидов $\text{Sn}(\text{OH})_2$, $\text{Sn}(\text{OH})_4$ и $\text{Pb}(\text{OH})_2$ изучите на свежеполученных осадках. В две пробирки внесите по 2–4 капли 0,5 н. раствора хлорида олова(II). В каждую пробирку добавляйте по каплям 0,5 н. раствор гидроксида натрия (щелочи) до образования осадка. Пробирки осторожно встряхните. К полученному гидроксиду олова(II) добавляйте: в первую пробирку – до 7 капель раствора хлороводородной кислоты, во вторую – до 7 капель 0,5 н. раствора гидроксида натрия. Пробирки осторожно встряхивайте и наблюдайте растворение осадков. Аналогичным образом получите и исследуйте свойства гидроксидов олова(IV) и свинца(II). Почему для получения гидроксидов олова(II) и олова(IV) берут растворы хлоридов олова, а для получения гидроксида свинца(II) – раствор нитрата свинца? Почему гидроксиды олова можно растворять в хлороводородной кислоте, а гидроксид свинца(II) – в азотной?

Запись данных опыта и обсуждение некоторых факторов, оказывающих влияние на свойства гидроксидов.

Напишите уравнения реакций получения гидроксидов углерода, олова(II), олова(IV), свинца(II) и растворения их в кислоте и в растворе щелочи, учитывая образование в щелочной среде комплексных анионов $[\text{Э}^{+2}(\text{OH})_6]^{4-}$ и $[\text{Э}^{+4}(\text{OH})_6]^{2-}$. Напишите схемы диссоциации полученных гидроксидов.

Укажите в ряду H_2CO_3 , H_2SiO_3 , $\text{Ge}(\text{OH})_4 \cdot y\text{H}_2\text{O}$, $\text{Sn}(\text{OH})_4 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ гидроксиды с кислотными и амфотерными свойствами, растворимые и нерастворимые. При обсуждении свойств гидроксидов по подгруппе укажите влияние радиуса, степени окисления, электроотрицательности элемента на полярность и поляризуемость химической связи Э–О–Н и Э–О–Н.

Гидроксиды элементов IV A подгруппы относятся к сильным или к слабым электролитам? Какая кислота H_2CO_3 или H_4SiO_4 более сильная? Какое основание $\text{Sn}(\text{OH})_2$ или $\text{Sn}(\text{OH})_4$ более сильное? Возможна ли реакция: $\text{Pb}(\text{OH})_2 + \text{Pb}(\text{OH})_4 = ?$

Опыт 3. Поляризуемость химической связи воды

Выполнение работы. Определите реакцию среды дистиллированной воды и растворов следующих солей: сульфата натрия, сульфата магния, сульфата алюминия, силиката натрия, ортофосфата натрия, карбоната натрия, хлорида олова(II), хлорида олова(IV), нитрата свинца. Для приближенного определения pH воды и растворов используйте универсальную индикаторную бумагу. При помощи пипетки перенесите одну каплю исследуемого раствора на индикаторную бумагу. Сравните окраску еще сырого пятна, полученного на бумаге, с цветной шкалой и выберите на ней оттенок, наиболее близкий к цвету полученного пятна. Сделайте вывод о pH раствора (больше или меньше 7) и укажите реакцию среды (кислая или щелочная).

Запись данных опыта и обсуждение некоторых факторов, оказывающих влияние на реакцию среды в водных растворах.

Изменение pH водных растворов солей элементов 3 периода:

раствор	Na_2SO_4	MgSO_4	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	Na_2SiO_3	Na_3PO_4	NaClO_4
pH
кислая среда						
щелочная среда						

Отклонение pH водных растворов от 7 в кислую или щелочную среду указывает, что молекулы воды и ионы соли взаимодействуют. *Такое взаимодействие называют гидролизом.*

Напишите электронно-структурную формулу молекулы воды. Назовите тип гибридизации и нарисуйте ее геометрическое строение. Почему молекула воды очень химически активна? Покажите ее активные центры. Может ли она проявлять донорно-акцепторную двойственность?

При растворении в воде солей происходит комплексобразование, в результате чего образуются аквакомплексы. Например, катионный аквакомплекс алюминия содержит шесть молекул воды $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$. Напишите электронно-структурную формулу гидратированного иона алюминия. Какую функцию (донора, акцептора) проявляют катион алюминия и молекулы воды?

Напишите электронно-структурную формулу анионного аквакомплекса кремния $[\text{SiO}_4 \cdot (\text{H}_2\text{O})_4]^{4-}$, анион кремния изобразите общей формулой A^{4-} . Какую функцию (донора, акцептора) проявляют анион кремния и молекулы воды? Какая связь называется водородной?

Объясните влияние заряда и размера катиона на его электроотрицательность и на акцепторную способность (усиливает, уменьшает). В каком случае больше поляризующая способность иона? В каком случае сильнее поляризуется связь О–Н координированной молекулы воды в аквакомплексном катионе? Какой ион молекулы воды в этом случае переходит в раствор и какова среда водного раствора (кислая, щелочная)? Какой катион элементов 3 периода в большей степени подвергается гидролизу? Сделайте вывод о влиянии силы основания на гидролиз солей по катиону.

В каком аквакомплексном анионе прочнее водородная связь? Как влияет радиус иона элемента и заряд аниона на его донорную способность (усиливает, уменьшает)? В каком случае, в результате поляризационного взаимодействия между анионом и молекулами воды, водородная связь переходит в ковалентную? В каком случае сильнее поляризуется связь Н–О координированной молекулы воды в анионном аквакомплексе? Какой ион молекулы воды в этом случае переходит в раствор? Какова реакция среды водного раствора соли? Сделайте вывод о влиянии силы кислоты на гидролиз соли по аниону.

Аналогично обсудите результаты измерения pH среды водных растворов солей элементов IV A группы: Na_2CO_3 , Na_2SiO_3 , SnCl_2 , SnCl_4 , $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$.

Техника безопасности

Во время работы соблюдайте следующие правила: обеспечьте рабочее место средствами нейтрализации и оказания первой помощи. На рабочем месте соблюдайте чистоту и порядок. Пользуйтесь чистыми пробирками, промытыми дистиллированной водой. Выполняя опыты, пользуйтесь растворами указанной концентрации и соблюдайте рекомендуемую дозировку.

При выполнении работы все наблюдения записывайте в лабораторный журнал непосредственно после каждого опыта.

Контрольные вопросы

1. Как изменяются кислотно-основные свойства гидроксидов хрома: $\text{Cr}(\text{OH})_2$, $\text{Cr}(\text{OH})_3$, H_2CrO_4 ?
2. Объясните усиление кислотных свойств в рядах:
 - а) NH_4OH , HNO_2 , HNO_3 ;
 - б) HF , HCl , HBr , HI .
3. Какая соль и почему в большей степени подвергается гидролизу Na_2CO_3 или NaNO_2 ?
4. Что называют поляризуемостью ковалентной связи? Какие частицы могут играть роль внешнего электрического поля?
5. Какой из ионов должен иметь большую поляризующую способность: Al^{3+} или Fe^{3+} , K^+ или Ag^+ , Ca^{2+} или Cu^{2+} ? На основе чего решается этот вопрос?
6. Что называют поляризующим действием данного иона и его собственной поляризуемостью? В какой зависимости находятся эти свойства от величины заряда иона и его радиуса? Почему в водных растворах не могут находиться в свободном состоянии многозарядные ионы N^{+5} , S^{+6} , Cl^{+7} , Mn^{+7} ? Какие ионы они образуют?
7. Приведите примеры *p*-элементов, которые в виде простых веществ являются металлами и неметаллами. Назовите гидроксиды элементов, относящиеся к классу кислот, оснований, проявляющие кислотно-основную двойственность.
8. Почему свойства таких элементов, как углерод и свинец, азот и висмут, калий и бром, хлор и аргон, магний и неон резко отличаются друг от друга?
9. Как объяснить на основе поляризационных представлений меньшую устойчивость иодидов меди(II) и свинца(IV) $2\text{CuI}_2 \rightarrow 2\text{CuI} + \text{I}_2$; $\text{PbI}_4 \rightarrow \text{PbI}_2 + \text{I}_2$ по сравнению с соответствующими хлоридами?
10. Как изменяется поляризующее действие ионов *s*-элементов II группы от Mg к Ba и почему это приводит к повышению термической устойчивости их карбонатов в той же последовательности?

Лабораторная работа 5

Тема: Рефрактометрия. Аддитивность рефракции.

Цель работы: 1. Расчет теоретической молярной рефракции исследуемой органической жидкости по правилу аддитивности.

2. Экспериментальное определение молярной и удельной рефракции.

Приборы и реактивы

Приборы и оборудование: рефрактометр, пикнометр емкостью 10 см³, весы аналитические, стаканы химические емкостью 50 см³, пипетки измерительные емкостью 10 см³, капилляры стеклянные, фильтровальная бумага.

Реактивы: вода (дист.), спирт этиловый, бутиловый, ацетон, бензол.

Организационная форма занятия

1. Получить у преподавателя исследуемую органическую жидкость.

2. Определить плотность исследуемой жидкости пикнометрическим методом.

3. Результаты измерения плотности занести в таблицу 1.

4. Подготовить рефрактометр к работе по жидкости сравнения в соответствии с приведенным ранее описанием.

5. Результаты измерения трех единичных и среднего значений показателей преломления воды занести в таблицу 2 и сравнить с табличным значением $n_{\text{табл}}(\text{H}_2\text{O})$.

6. Измерить показатель преломления исследуемой органической жидкости. Измерения показателя преломления проводить в трех параллельных измерениях, всякий раз нанося новые капли исследуемой жидкости на измерительную призму рефрактометра.

7. Занести результаты единичных измерений показателя преломления исследуемой жидкости $n_i(x)$ в таблицу 2. Рассчитать среднее значение показателя преломления $\bar{n}(x)$.

8. По измеренным значениям среднего показателя преломления $\bar{n}(x)$ рассчитать экспериментальные значения молярной (моляр-

ной) $R_{\text{экспер}}(x)$ и удельной $r_{\text{экспер}}(x)$ рефракции исследуемой органической жидкости по формулам:

$$R_{\text{экспер}}(x) = \frac{\bar{n}^2 - 1}{\bar{n}^2 + 2} \cdot \frac{M(x)}{\rho(x)},$$

$$r_{\text{экспер}}(x) = \frac{R_{\text{экспер}}(x)}{M(x)},$$

где $R(x)$ – мольная рефракция, см³/моль; $r(x)$ – удельная рефракция, см³/г; $M(x)$ – молярная масса исследуемой жидкости, г/моль; $\rho(x)$ – плотность исследуемой жидкости, г/см³.

9. Рассчитать теоретическое значение мольной $R_{\text{теор}}(x)$ и удельной $r_{\text{теор}}(x)$ рефракций по правилу аддитивности:

$$R_{\text{теор}}(x) = \sum R_A + \sum R_i,$$

$$r_{\text{теор}}(x) = \frac{R_{\text{теор}}(x)}{M(x)},$$

где R_A – рефракция атомов, входящих в состав молекулы исследуемой органической жидкости, см³/моль; R_i – инкременты связей и циклов, см³/моль.

10. Рассчитать величину относительной погрешности определения молярной рефракции исследуемой органической жидкости по формуле

$$\varepsilon_{\text{отн}} = \frac{R_{\text{экспер}}(x) - R_{\text{теор}}(x)}{R_{\text{теор}}(x)} \cdot 100\%.$$

Определение плотности исследуемой органической жидкости пикнометрическим методом

Для определения мольной рефракции вещества, кроме величины показателя преломления еще необходимо экспериментальным путем определить плотность исследуемой органической жидкости.

Плотность исследуемой органической жидкости определяется пикнометрическим методом по следующему алгоритму:

1. Взвесить сухой пикнометр на аналитических весах. Записать массу пикнометра m_1 в таблицу 1.

2. Заполнить пикнометр органической жидкостью с помощью пипетки и стеклянного капилляра до кольцевой отметки по нижнему мениску.

3. Взвесить пикнометр с органической жидкостью на аналитических весах и занести массу пикнометра с жидкостью m_2 в таблицу 1.

4. Тщательно промыть пикнометр и заполнить его водой до кольцевой отметки по нижнему мениску.

5. Взвесить пикнометр с водой на аналитических весах и занести массу пикнометра с водой m_3 в таблицу 1.

6. Рассчитать плотность органической жидкости по формуле

$$\rho(x) = \frac{m(x)}{m(\text{H}_2\text{O})} \cdot \rho(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m_2 - m_1}{m_3 - m_1} \cdot \rho(\text{H}_2\text{O}),$$

где $\rho(x)$ – плотность органической жидкости, г/см³; $m(x)$ – масса органической жидкости в пикнометре, г; $m(\text{H}_2\text{O})$ – масса воды в пикнометре, г; $\rho(\text{H}_2\text{O})$ – табличное значение плотности жидкости сравнения (воды) при температуре определения плотности органической жидкости (фиксируется по термометру).

Таблица 1

Данные пикнометрического определения органической жидкости

Масса пикнометра m_1 , г	Масса пикнометра с жидкостью m_2 , г	Масса жидкости $m(x)$, г	Масса пикнометра с водой m_3 , г	Масса воды $m(\text{H}_2\text{O})$, г	Температура из- мерения плотно- сти T , °C	Табличное значе- ние $\rho(\text{H}_2\text{O})$, г/см ³	Плотность жидко- сти $\rho(x)$, г/см ³

Подготовка рефрактометра к работе по жидкости сравнения – H_2O

Перед проведением измерений необходимо проверить настройку рефрактометра «на нуль» (нуль-пункт) и выставить его при необходимости. Для этого проводят следующие операции:

1. Открыть верхнюю камеру и промыть дистиллированной H_2O поверхности измерительной и осветительной призмы насухо вытереть.

2. Нанести с помощью стеклянной палочки на плоскость измерительной призмы одну – две капли дистиллированной H_2O и закрыть верхнюю камеру.

3. Перемещением рукоятки с окуляром ввести в поле зрения границу светотени.

4. Резкость границы светотени, штрихов шкалы и перекрестие сетки по глазу наблюдателя устанавливается вращением гайки окуляра.

5. Вращением рукоятки дисперсионного компенсатора устранить окрашенность границы светотени.

6. Границу светотени, перемещая рукоятку, подвести к центру перекрестия сетки, если она прошла через отметку шкалы $n = 1,33299$ и 0 %, то нуль-пункт рефрактометра установлен правильно.

Примечание. Если нет, то установку нуль-пункта рефрактометра производят следующим образом: вводят в отверстие корпуса ключ и, вращая его, подводят границу светотени к центру перекрестия сетки, т. е. к отметке 1,33299 шкалы показателя преломления и значению 0 % шкалы массовой доли сахарозы.

7. Сравнить измеренный показатель преломления \bar{n} (H_2O) с табличным значением (таблица 2).

8. Если измеренный показатель преломления H_2O отличается от табличного значения не более чем на $\pm 0,001$, рефрактометр считается подготовленным к рефрактометрическим измерениям.

9. Если измеренный средний показатель преломления \bar{n} (H_2O) отличается от табличного значения более чем на $\pm 0,001$, увеличивают число параллельных измерений показателя преломления до 5.

10. Открыть верхнюю призму, удалить жидкость с призмы сухим фильтром.

Измерение показателя преломления исследуемой жидкости

1. Нанести на поверхность измерительной призмы 2–3 капли исследуемой жидкости и накрыть верхней призмой.

2. Измерить показатель преломления исследуемой жидкости. Измерение показателя преломления проводить в трех параллельных измерениях, всякий раз нанося новые капли исследуемой жидкости на измерительную призму рефрактометра.

3. Занести результаты единичных измерений показателя преломления исследуемой жидкости $n_i(x)$ в таблицу 2; рассчитать среднее значение показателя преломления $\bar{n}(x)$.

Таблица 2

Данные рефрактометрического измерения показателя преломления исследуемой жидкости

Показатель преломления воды $n(\text{H}_2\text{O})$	Табл. значение показателя преломления воды $n_{\text{табл}}(\text{H}_2\text{O})$	Показатель преломления исследуемой жидкости, $n_i(x)$	Средний показатель преломления жидкости, $\bar{n}(x)$	Экспериментальная молярная рефракция, $R_{\text{эксп.}}(x)$	Теоретическая молярная рефракция, $R_{\text{теор.}}(x)$	Относительная погрешность, $\varepsilon_{\text{отн.}}, \%$
		n_1				
		n_2				
		n_3				

Контрольные вопросы

1. Что такое показатель преломления? Чем обусловлено изменение скорости распространения светового луча при переходе из одной среды в другую?

2. Как зависит показатель преломления вещества от температуры и давления, при которых проводятся его измерения?

3. Зависит ли показатель преломления вещества от длины волны преломляемого луча?

4. Что такое дисперсия рефракции, средняя дисперсия, относительная дисперсия?

5. Что такое молярная рефракция? Зависит ли молярная рефракция от условий измерения показателя преломления? Как можно рассчитать молярную рефракцию и для каких целей можно использовать эту характеристику?

6. В чем суть правила аддитивности молярной рефракции, для какой цели его можно использовать на практике?

Лабораторная работа 6

Тема: Получение и исследование свойств аллотропных модификаций серы

Цель работы: освоить методы получения аллотропных модификаций серы и изучить их некоторые физические и химические свойства

Приборы и реактивы

Оборудование: весы теххимические, фарфоровая ступка с пестиком, сушильный шкаф, ледяная баня, водяная баня, электроплитка, колбы конические вместимостью 50 и 100 см³, чашки Петри, стаканы термостойкие вместимостью 100 и 150 см³, мерные цилиндры на 10 и 50 см³, металлические тигли вместимостью 10 см³, кристаллизатор, химическая воронка, установка для фильтрования, фильтры стеклянные, воронка Бюхнера, колба Бунзена, установка для определения температуры плавления, термометр, поляризационный микроскоп, стеклянные палочки, сетка асбестированная, тигельные щипцы, набор пробирок, спиртовки, индикаторная бумага, фильтровальная бумага.

Реактивы: пентагидрат тиосульфата натрия (крист.), сера молотая (крист.), толуол, керосин, четырёххлористый углерод, этанол, ацетон, серная кислота (2 н. раствор, конц.), азотная кислота (2 н. раствор, конц.), соляная кислота (2 н. раствор), гидроксид натрия (2 н. раствор, конц.), порошкообразные медь, железо, цинк и алюминий, дистиллированная вода.

Опыт 1. Получение модификаций серы

В коническую колбу вместимостью 50 см³ наливают 20–25 см³ толуола и прибавляют некоторое количество тонко размолотой черенковой серы (около 1 г). Колбу помещают на водяную баню, которую нагревают на электроплитке до кипения, и добиваются частичного растворения серы. При уменьшении объёма раствора в колбу приливают новые порции растворителя. Прозрачный горячий раствор переливают в тёплую чашку Петри и, накрыв другой чашкой, медленно охлаждают. Выпавшие кристаллы *ромбической серы*

отделяют, сливая жидкость в свободную склянку, и высушивают на воздухе.

Определяют температуру плавления полученной модификации серы и её растворимость в различных растворителях (вода, этанол, ацетон, четырёххлористый углерод, керосин). Опыт повторяют, заменив толуол другим растворителем, в котором сера растворяется. Влияет ли растворитель на форму полученных кристаллов? Их цвет? Кристаллическую модификацию? Кристаллы серы сохраняют для опыта 2.

В металлическом тигле вместимостью 10 см³ расплавляют некоторое количество размолотой черенковой серы и дают несколько остыть. После того, как на поверхности образуется кристаллическая корка, её прокалывают и выливают оставшуюся жидкую серу в свободный тигель. На стенках тигля остаются тонкие косые столбики *моноклинной серы*. Определяют температуру плавления полученной модификации серы и её растворимость в различных растворителях. Кристаллы сохраняют для опыта 2.

В металлическом тигле расплавляют над пламенем спиртовки некоторое количество порошкообразной серы и доводят расплав до кипения. Кипящую серу выливают тонкой струёй на поверхность опрокинутой воронки, погружённой в кристаллизатор с ледяной водой. Чтобы образующиеся нити не слипались между собой, воронку вращают, не вынимая из воды (эту операцию удобнее проводить вдвоём). Захватив верхний конец «шнура» *пластической серы* тигельными щипцами, вытягивают её в тонкие нити. Полученный образец оставляют до конца занятия и описывают изменения, которые произошли с ним с течением времени. При быстром охлаждении не доведённой до кипения серы получают твердый кристаллический продукт, лишённый пластичности.

Опыт 2. Определение размера, формы, характера погасания и сингонии кристаллов

Рассмотрите полученные в опыте 1 кристаллы ромбической и моноклинной серы под микроскопом в неполяризованном (естественном) свете с использованием микрометрического окуляра. В лабораторном журнале зарисуйте внешний вид кристаллов, определите их линейные размеры.

Наблюдая кристаллические образцы в параллельном поляризованном свете (в скрещенных николях), установите, являются они оптически изотропными или анизотропными. Оптически изотропные кристаллы в скрещенных николях всегда остаются тёмными, невидимыми при вращении столика микроскопа и для того, чтобы увидеть их, необходимо вывести анализатор. Оптически анизотропные кристаллы в скрещенных николях кажутся светлыми, однако в положениях погасания, соответствующих совпадениям направлений световых колебаний в кристалле с направлениями колебаний, пропускаемых поляризатором и анализатором, они представляются тёмными. При повороте столика микроскопа анизотропные кристаллы «гаснут» через каждые 90° .

Установите сингонию кристаллов, изучив характер погасания. Удлиненные кристаллы могут давать прямое ($\varphi = 90^\circ$) или косое ($0 < \varphi < 90^\circ$) погасания. Погасание называют прямым, если удлинение кристалла в положении погасания совпадает с направлением колебаний в одном из николей, т. е. с одной из нитей окулярного креста. Если же в положении погасания удлинение составляет некоторый угол с нитью креста, то погасание называют косым. Кристаллы ромбической сингонии во всех случаях независимо от ориентации показывают прямое погасание. Моноклинные кристаллы могут давать как прямое, так и косое погасания в зависимости от того, на каких гранях они лежат.

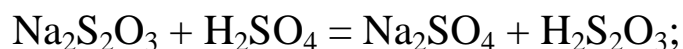
Опыт 3. Получение серного цвета

В металлический тигель вместимостью 10 см^3 помещают некоторое количество тонко размолотой черенковой серы, накрывают крышкой и нагревают над пламенем спиртовки до кипения. В момент выделения паров серы тигель переносят на асбестированную сетку, снимают крышку и накрывают холодной воронкой большого диаметра. Пары серы, охлаждаясь, десублимируются на внутренней поверхности воронки в виде мельчайшего порошка *серного цвета*.

Опыт 4. Получение осаждённой серы

В коническую колбу вместимостью 100 см^3 наливают цилиндром около 50 см^3 дистиллированной воды, вносят около 10 г кристаллического пентагидрата тиосульфата натрия и растворяют при лёгком нагревании. В прозрачный раствор приливают около 20 см^3

2 н. раствора серной кислоты до появления светло-жёлтого осадка коллоидной серы. Образование серы происходит в соответствии с уравнениями реакций



Раствор отстаивают, прозрачную жидкость сливают, осадок промывают дистиллированной водой декантацией до отрицательной реакции на SO_4^{2-} -ион (проба с BaCl_2) и отфильтровывают на воронке Бюхнера, промывая водой и спиртом. Порошок осаждённой серы высушивают на воздухе, определяют температуру плавления и растворимость в различных растворителях.

Опыт 5. Химические свойства серы

В три химические пробирки наливают 1–2 см³ концентрированных растворов серной и азотной кислот и гидроксида натрия. Микрошпателем вносят некоторое количество порошка серы (серного цвета или тонко размолотой черенковой серы) и осторожно нагревают над пламенем спиртовки. Сера плавится, растворяется, цвет её темнеет, и, когда содержимое пробирок будет доведено до кипения, появляется резкий запах выделяющихся газообразных продуктов. Нагревание прекращают, растворы охлаждают до комнатной температуры и качественными реакциями определяют состав жидких и газообразных серосодержащих продуктов.

Запишите в лабораторном журнале уравнения происходящих реакций, отметьте условия их протекания. Докажите, что при взаимодействии с серной кислотой выделяется преимущественно газообразный диоксид серы и частично триоксид серы, с азотной кислотой – газообразные оксид и диоксид азота и серная кислота в растворе, с гидроксидом натрия – смесь сульфидов и сульфитов. Охарактеризуйте окислительно-восстановительные свойства серы в этих превращениях.

В металлический тигель помещают однородную смесь порошков серы и какого-либо металла (меди, железа, цинка, алюминия). Смесь хорошо растирают пестиком, тигель неплотно закрывают крышкой и нагревают над пламенем спиртовки. Сера плавится и закипает. Если расплавленная сера загорится, закройте тигель крышкой для прекращения доступа кислорода. Взаимодействие серы с

металлами протекает бурно, с выделением большого количества тепла, поэтому нагревание вскоре прекращают и ожидают завершения реакции. Охладив тигель до комнатной температуры, выбивают полученный «королёк» и с помощью качественных реакций определяют состав продуктов.

Запишите в лабораторном журнале уравнения происходящих реакций, отметьте условия их протекания. Охарактеризуйте окислительно-восстановительные свойства серы в этих превращениях. Какую окраску имеют полученные сульфиды металлов? Как протекает их растворение в воде, соляной кислоте, растворе гидроксида натрия?

Техника безопасности

При выполнении работы необходимо строго соблюдать общие правила работы в химической лаборатории, изложенные в инструкции по технике безопасности.

Кристаллическая сера (независимо от модификации) не представляет опасности для работающих при соблюдении требований безопасности, но её производные (диоксид и триоксид серы, сероводород, сульфиты и сульфиды металлов) обладают ярко выраженными токсическими свойствами, вызывая головную боль, утомляемость, раздражение верхних дыхательных путей, конъюнктивиты, а при длительной работе – острые отравления.

Опасность химических и термических ожогов возникает при работе с расплавленной серой, горячими концентрированными кислотами и щелочью, при получении сульфидов металлов сплавлением. Во избежание вспышек и самовозгорания паров серы нагревание на спиртовке следует проводить в вытяжном шкафу с закрытыми створками, металлический тигель прикрывать крышкой. В случае возгорания серы необходимо плотно закрыть тигель крышкой или асбестовой сеткой и дожидаться, когда пламя погаснет. Запрещается задувать и заливать водой горящую серу.

Вредное воздействие на организм могут оказывать органические растворители (толуол, ацетон, четырёххлористый углерод), обладающие наркотическим действием и поражающие жизненно важные органы – мозг, печень, почки, сосуды. Следует помнить, что эти вещества относятся к легко воспламеняющимся и горючим жидкостям. Для предотвращения вредного воздействия этих веществ и во избе-

жание воспламенения работу с ними следует проводить в вытяжном шкафу вдали от открытых источников огня.

Работать в лаборатории разрешается только в халате, в случае необходимости следует использовать индивидуальные средства защиты. К выполнению работы студенты допускаются после инструктажа по технике безопасности и допуска преподавателем к работе.

Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте электронное строение и валентные возможности атома серы исходя из положения элемента в Периодической системе.

2. Назовите природные источники серы и её соединений. В каких отраслях промышленного производства они применяются?

3. Опишите строение аллотропных модификаций серы, перечислите их физические свойства. Чем объясняется устойчивость или неустойчивость различных модификаций?

4. Объясните значение следующих понятий: аллотропия, полиморфизм, изоморфизм, фазовый переход, монокристалл и энантиотропный переходы, кристаллическая решётка, анизотропия, сингония кристалла.

5. Перечислите последовательность физико-химических процессов, происходящих с серой при нагревании и охлаждении. Опишите структуру промежуточных и конечных продуктов фазовых превращений. Укажите температуры, соответствующие этим превращениям.

6. Поясните ход кривых на дериватограмме элементной серы. Какой физический смысл имеют процессы, описываемые кривыми дифференциально-гравиметрического (ДТГ) и дифференциально-термического (ДТА) анализов?

7. Рассмотрите фазовую диаграмму элементной серы в координатах давление–температура. Какие участки соответствуют областям гомогенности, какие – областям гетерогенности? Какие фазовые переходы изображены на диаграмме?

8. В каких растворителях кристаллическая сера растворяется хорошо, растворяется сравнительно мало, практически нерастворима? Как влияет повышение температуры на растворимость серы?

9. Охарактеризуйте окислительно-восстановительные свойства элементной серы. Приведите уравнения реакций.

10. Почему порошкообразный сульфид алюминия хранят в плотно закрывающейся таре, защищая от попадания влаги, в то время как сульфиды меди(II), железа(II) и цинка(II) устойчивы во влажной атмосфере? Что произойдёт с сульфидами этих металлов при контакте с влажным хлороводородом? Парам уксусной кислоты?

Лабораторная работа 7

Получение карбонатов металлов и установление их состава

Цель работы: синтезировать средние и основные карбонаты меди(II), меди(I), марганца(II), железа(II), кобальта(II), никеля(II), свинца(II), цинка и магния и установить состав карбонатов газовым методом

Приборы и реактивы

Оборудование: весы теххимические, весы аналитические, сушильный шкаф, электроплитка, ледяная баня, водяная баня, фарфоровая ступка с пестиком, фарфоровые чашки, колбы плоскодонные вместимостью 500 см^3 , колбы конические вместимостью 250 см^3 , мерные цилиндры на 10 и 100 см^3 , установка для фильтрования, воронка Бюхнера, колба Бунзена, аппарат Киппа, установка для определения состава карбонатов, термометр, барометр, воронка химическая с длинным концом, стеклянные палочки, часовые стёкла, сетка асбестированная, фильтровальная бумага, универсальная индикаторная бумага.

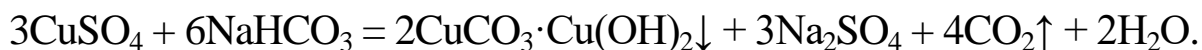
Реактивы: пентагидрат сульфата меди(II) (крист.), тетрагидрат хлорида марганца(II) (крист.), пентагидрат сульфата марганца(II) (крист.), гептагидрат сульфата железа(II) или соль Мора (крист.), гексагидрат хлорида кобальта(II) (крист.), гептагидрат сульфата кобальта(II) (крист.), гептагидрат сульфата никеля(II) (крист.), тригидрат ацетата свинца(II) (крист.), гептагидрат сульфата цинка (крист.), гексагидрат хлорида магния (крист.), гидрокарбонат натрия (крист.), карбонат натрия (крист.), хлорид бария (0,5 н.), нитрат серебра (0,1 н.), хлороводородная кислота (20%-ная и 4 н.), азотная кислота (4 н.), мрамор, спирт этиловый.

Опыт 1.1. Получение карбонатов меди(II) и меди(I)

Медь образует средние карбонаты составов CuCO_3 и Cu_2CO_3 и основные карбонаты, состав которых во многом определяется условиями синтеза и выражается общей формулой $x\text{CuCO}_3 \cdot y\text{Cu}(\text{OH})_2$. В зависимости от температуры синтеза и концентрации исходных компонентов состав карбонатов меди(II)

приближается к одной из формул: $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ или $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$.

Дигидроксодикарбонат меди(II), $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$, по составу аналогичный азуриту – природному минералу меди(II), получают взаимодействием гидрокарбоната натрия с солями двухвалентной меди в холодном водном растворе. Процесс описывается уравнением реакции:



На теххимических весах взвешивают 25,0 г (0,1 моль) кристаллического пентагидрата сульфата меди(II) и около 18 г гидрокарбоната натрия. Навески смешивают и растирают в фарфоровой ступке. Полученную смесь вносят небольшими порциями при быстром перемешивании в плоскодонную колбу вместимостью 500 см³, куда предварительно наливают цилиндром 200 см³ дистиллированной воды. В результате выделения диоксида углерода раствор вспенивается. Очередную порцию смеси вносят лишь после того, как поверхность раствора освободится от пены.

После прекращения выделения диоксида углерода раствор отстаивают, жидкость декантируют, а осадок несколько раз промывают холодной водой. Промывку считают законченной, когда промывные воды покажут отрицательную реакцию на SO_4^{2-} -ион (проба с BaCl_2). Промытый осадок заливают холодной водой и насыщают суспензию диоксидом углерода из аппарата Киппа. Ток газа пропускают в 2–3 приёма по 1–2 минуты, между которыми колбу закрывают пробкой и энергично перемешивают.

Осадок переносят на бумажный фильтр и отфильтровывают на воронке Бюхнера. Полученную пасту вместе с фильтром помещают в фарфоровую чашку и высушивают в сушильном шкафу при температуре не выше 50 °С. Получают голубой тонкозернистый порошок устойчивый при хранении на воздухе при комнатной температуре. При кипячении вещество гидролизуеться, выше 220 °С разлагается, выделяя диоксид углерода и воду.

Дигидроксокарбонат меди(II), $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$, по составу аналогичный малахиту – природному минералу меди(II), получают при кипячении раствора карбоната натрия с солями двухвалентной меди. Процесс описывается уравнением реакции:



На теххимических весах взвешивают 25,0 г (0,1 моль) кристаллического пентагидрата сульфата меди(II) и растворяют в 100 см³ дистиллированной воды. Навеску карбоната натрия (около 12 г) переносят в плоскодонную термостойкую колбу вместимостью 500 см³, куда предварительно наливают цилиндром 200 см³ дистиллированной воды, и растворяют при нагревании. В горячий раствор карбоната натрия порциями вливают раствор сульфата меди(II). В результате выделения диоксида углерода раствор вспенивается. Очередную порцию приливают лишь после того, как поверхность раствора освободится от пены. По окончании выделения диоксида углерода раствор в колбе доводят до кипения, затем отстаивают и охлаждают до комнатной температуры.

Жидкость сливают с осадка декантацией, а осадок несколько раз промывают холодной водой. Промывку считают законченной, когда промывные воды покажут отрицательную реакцию на SO_4^{2-} -ион (проба с BaCl_2). Промытый осадок переносят на бумажный фильтр и отфильтровывают на воронке Бюхнера. Полученную пасту вместе с фильтром помещают в фарфоровую чашку и высушивают в сушильном шкафу при температуре не выше 100 °С. Получают светло-зелёный мелкозернистый порошок устойчивый при хранении на воздухе при комнатной температуре. Выше 200 °С вещество разлагается, выделяя диоксид углерода и воду.

Средний карбонат меди(II) получают в виде белого порошка, обрабатывая основные карбонаты диоксидом углерода под давлением 4,6 МПа при 180 °С:



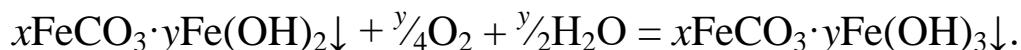
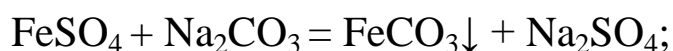
Средний карбонат меди(I) получают, действуя холодным раствором гидрокарбоната натрия на водную суспензию хлорида меди(I). При этом малорастворимый хлорид меди(I) белого цвета превращается в очень плотный практически нерастворимый в воде жёлто-оранжевый порошок карбоната меди(I) ($\text{PP}(\text{Cu}_2\text{CO}_3) = 1,3 \cdot 10^{-10}$ при 18 °С):



Опыт 1.2. Получение карбонатов железа(II)

Карбонат железа(II) встречается в природе в виде ромбоэдрических плотных кристаллов белого или серого цвета, образуя скопления железного шпата. Он практически не растворим в воде, но растворяется в водном растворе угольной кислоты, переходя в гидрокарбонат железа(II). В такой форме он содержится в воде некоторых минеральных источников. При соприкосновении с воздухом или при лёгком нагревании гидрокарбонат железа разлагается, выделяя диоксид углерода и воду. Образующийся карбонат железа(II) подвергается необратимому гидролизу, продукты гидролиза быстро окисляются кислородом воздуха до соединений железа(III) уже при обычных условиях.

Основной карбонат железа(II), содержащий примесь оксо- и гидроксо соединений железа(III), получают обработкой сульфата железа(II) холодным раствором карбоната натрия. Процесс описывается уравнениями реакций:



На теххимических весах взвешивают 27,8 г (0,1 моль) кристаллического гептагидрата сульфата железа(II) или 39,2 г (0,1 моль) соли Мора. Навеску растворяют в 200 см³ холодной дистиллированной воды. В плоскодонную колбу вместимостью 500 см³ цилиндром наливают около 200 см³ воды и вносят навеску карбоната натрия массой около 15 г.

К раствору карбоната натрия при перемешивании приливают порциями раствор сульфата железа(II) до прекращения выделения диоксида углерода. После отстаивания жидкость декантируют, а белый осадок несколько раз промывают водой до нейтральной реакции промывных вод. Промывку считают законченной, когда промывные воды покажут отрицательную реакцию на SO_4^{2-} -ион (проба с BaCl_2). В процессе отстаивания и промывки осадок окисляется, в результате чего темнеет, а затем буреет.

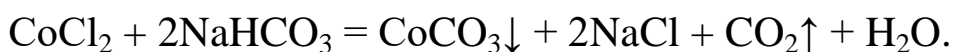
Тщательно промытый осадок отфильтровывают на воронке Бюхнера, используя наиболее плотный бумажный фильтр «синяя

лента». Полученную пасту дополнительно промывают этиловым спиртом, затем вместе с фильтром помещают в фарфоровую чашку и высушивают в сушильном шкафу при температуре не выше 60 °С.

Опыт 1.3. Получение карбонатов кобальта(II)

Для кобальта(II) известны средние и основные карбонаты, существующие в виде кристаллогидратов или безводных солей.

Средний карбонат кобальта(II) получают взаимодействием холодного водного раствора гидрокарбоната натрия с насыщенным раствором нитрата или хлорида кобальта(II):



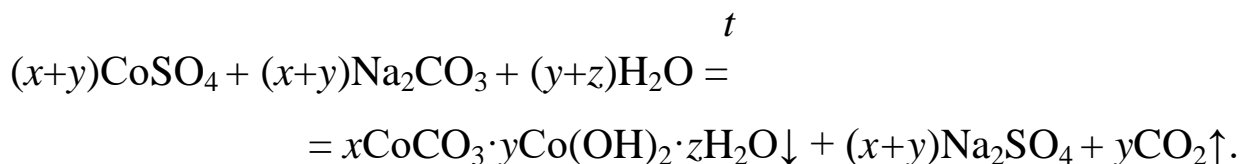
На технохимических весах взвешивают 23,8 г (0,1 моль) кристаллического гексагидрата хлорида кобальта(II) и растворяют навеску в 20 см³ дистиллированной воды. В плоскодонную колбу вместимостью 500 см³ цилиндром наливают около 200 см³ воды и вносят навеску гидрокарбоната натрия массой около 20 г. Растворы исходных компонентов смешивают, вливая в раствор гидрокарбоната натрия при перемешивании раствор хлорида кобальта(II). Осаждение проводят в закрытом сосуде для уменьшения потерь диоксида углерода. Получают фиолетовый порошок, состав которого отвечает формуле $\text{CoCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Суспензию отстаивают, после чего жидкость декантируют, а осадок несколько раз промывают холодной водой. Промывку считают законченной, когда промывные воды покажут отрицательную реакцию на Cl^- -ион (проба с AgNO_3). Промытый осадок заливают холодной водой и насыщают суспензию диоксидом углерода из аппарата Киппа. Ток газа пропускают в 2–3 приёма по 1–2 минуты, между которыми колбу закрывают пробкой и энергично перемешивают. Осадок переносят на бумажный фильтр и отфильтровывают на воронке Бюхнера, затем вместе с фильтром помещают в фарфоровую чашку и высушивают при температуре не выше 40 °С. При нагревании продукт частично дегидратируется, превращаясь в $\text{CoCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, и приобретает красноватую окраску. Безводный реактив получают, нагревая кристаллогидрат в запаянной трубке при 140 °С. Вещество устойчиво при хранении на воздухе при комнатной температуре, в холодной

воде практически не растворимо ($\text{ПР}(\text{CoCO}_3) = 8,1 \cdot 10^{-13}$ при 18°C), в кипящей воде гидролизуеться.

Окислением карбоната кобальта(II) или взаимодействием водного раствора карбоната аммония с фторидом кобальта(III) синтезируют карбонат кобальта(III), $\text{Co}_2(\text{CO}_3)_3$, – оливково-зелёное чрезвычайно нестойкое твёрдое вещество.

Основной карбонат кобальта(II) получают обработкой солей кобальта(II) горячим раствором карбоната натрия. При использовании сульфата кобальта процесс описывается схемой:



Состав продукта реакции зависит от температуры растворов, соотношения реагентов и времени синтеза и в зависимости от условий выражается формулами: $\text{CoCO}_3 \cdot \text{Co}(\text{OH})_2$, $2\text{CoCO}_3 \cdot \text{Co}(\text{OH})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ или $2\text{CoCO}_3 \cdot 3\text{Co}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, причём с увеличением температуры и щёлочности раствора массовая доля диоксида углерода в соли уменьшается.

На теххимических весах взвешивают 28,1 г (0,1 моль) кристаллического гептагидрата сульфата кобальта(II) и растворяют навеску в 50 см^3 дистиллированной воды. В плоскодонную термостойкую колбу вместимостью 500 см^3 цилиндром наливают около 200 см^3 воды, вносят навеску карбоната натрия массой около 15 г и растворяют при нагревании. К раствору карбоната натрия при перемешивании приливают порциями нагретый до $50\text{--}60^\circ\text{C}$ раствор сульфата кобальта(II) до прекращения выделения диоксида углерода. Реакция жидкости должна оставаться щелочной. После отстаивания жидкость декантируют, а осадок несколько раз промывают теплой водой до нейтральной реакции промывных вод. Промывку считают законченной, когда промывные воды покажут отрицательную реакцию на SO_4^{2-} -ион (проба с BaCl_2).

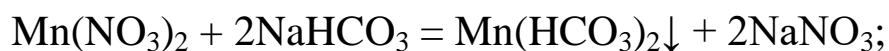
Тщательно промытый осадок отфильтровывают на воронке Бюхнера, дополнительно промывают этиловым спиртом, затем вместе с фильтром помещают в фарфоровую чашку и высушивают в сушильном шкафу при температуре не выше 60°C . Получают красно-фиолетовый мелкозернистый порошок. Вещество не

растворимо в воде и органических растворителях, разлагается в кипящей воде. В процессе нагревания дегидратируется и выше 250 °С разлагается на карбонат и оксид кобальта(II).

Опыт 1.4. Получение карбонатов марганца(II)

Марганец(II) образует средний карбонат, существующий в виде безводной соли или гидратов составов $\text{MnCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и $\text{MnCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, и основные карбонаты переменного состава $x\text{MnCO}_3 \cdot y\text{Mn}(\text{OH})_2 \cdot z\text{H}_2\text{O}$.

Средний карбонат марганца(II) получают взаимодействием холодного водного раствора гидрокарбоната натрия с раствором нитрата или хлорида марганца(II). Образующийся на начальном этапе гидрокарбонат марганца(II) в течение нескольких секунд разлагается с выделением диоксида углерода и воды:

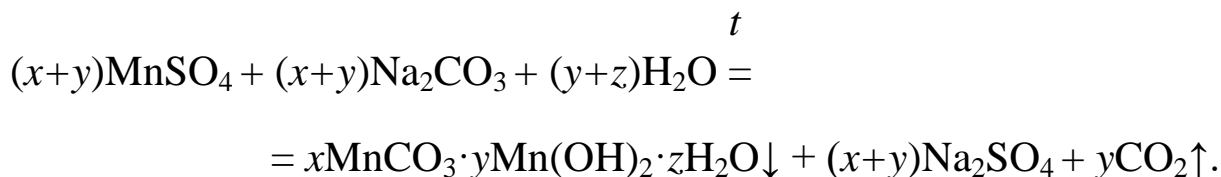


На теххимических весах взвешивают 26,9 г (0,1 моль) кристаллического тетрагидрата хлорида марганца(II) и растворяют навеску в 50 см³ дистиллированной воды. В плоскодонную колбу вместимостью 500 см³ цилиндром наливают около 200 см³ воды и вносят навеску гидрокарбоната натрия массой около 20 г. Растворы исходных компонентов смешивают, вливая в раствор гидрокарбоната натрия при перемешивании раствор хлорида марганца(II). Суспензию белого цвета отстаивают для полного разложения гидрокарбоната марганца(II), о чём судят по прекращению выделения диоксида углерода. После отстаивания жидкость декантируют, а осадок несколько раз промывают холодной водой. Промывку считают законченной, когда промывные воды покажут отрицательную реакцию на Cl^- -ион (проба с AgNO_3).

Тщательно промытый осадок отфильтровывают на воронке Бюхнера. Полученную пасту дополнительно промывают этиловым спиртом, затем вместе с фильтром помещают в фарфоровую чашку и высушивают в сушильном шкафу при температуре не выше 60 °С. Получают белый аморфный порошок устойчивый

при хранении на воздухе при комнатной температуре. Выше 100 °С вещество разлагается на MnO и CO_2 , во влажном воздухе окисляется и темнеет вследствие образования оксида марганца (III). В воде практически не растворимо ($\text{ПР}(\text{MnCO}_3) = 1,8 \cdot 10^{-11}$ при 18 °С), при кипячении гидролизуется.

Основной карбонат марганца(II) получают обработкой сульфата марганца(II) горячим раствором карбоната натрия. Процесс описывается схемой:



Состав продукта реакции зависит от температуры растворов и соотношения реагентов. Обычно образуются карбонаты, в которых коэффициенты y и z принимают значения от 1 до 6 (при $x = 1$), причём с увеличением температуры и щёлочности раствора y возрастает.

На теххимических весах взвешивают 24,1 г (0,1 моль) кристаллического пентагидрата сульфата марганца(II) и растворяют навеску в 50 см³ дистиллированной воды. В плоскодонную термостойкую колбу вместимостью 500 см³ цилиндром наливают около 200 см³ воды, вносят навеску карбоната натрия массой около 15 г и растворяют при нагревании.

К теплomu раствору карбоната натрия при перемешивании приливают порциями раствор сульфата марганца(II) до прекращения выделения диоксида углерода. Реакция жидкости должна оставаться щелочной. После отстаивания жидкость декантируют, а осадок несколько раз промывают теплой водой до нейтральной реакции промывных вод. Промывку считают законченной, когда промывные воды покажут отрицательную реакцию на SO_4^{2-} -ион (проба с BaCl_2).

Тщательно промытый осадок отфильтровывают на воронке Бюхнера, используя наиболее плотный бумажный фильтр «синяя лента». Затем промывают этиловым спиртом, вместе с фильтром переносят в фарфоровую чашку и высушивают в сушильном шкафу при температуре не выше 60 °С. Получают бледно-

розовый аморфный порошок, легко окисляющийся на воздухе, вследствие чего его окраска становится серо-коричневой.

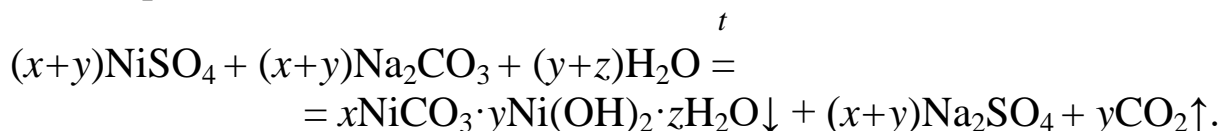
Опыт 1.5. Получение карбонатов никеля(II)

Никель(II), подобно кобальту(II), образует средние и основные карбонаты, существующие в виде кристаллогидратов и безводных солей, а также гидрокарбонат состава $\text{Ni}(\text{HCO}_3)_2$. Состав карбонатов определяется выбором исходного сырья и методом синтеза.

Карбонат никеля(II) (гексагидрат), $\text{NiCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, образуется при электролизе воды, насыщенной диоксидом углерода, с использованием никелевых электродов. Электролиз ведут при силе тока 2,0–2,2 А, электролизёр снаружи охлаждают проточной водой. Вещество осаждается на дне в виде бледно-зелёных кристаллов в форме ромбоэдров или моноклинных призм. При осторожном нагревании в вакууме в присутствии водоотнимающих средств получают гидраты с меньшим содержанием воды $\text{NiCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, $\text{NiCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и $\text{NiCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, как правило, загрязнённые примесью основных солей.

Безводный **карбонат никеля(II)**, NiCO_3 , существует в двух формах – зелёной и жёлтой. Зелёный карбонат никеля(II) получают в виде мелких прозрачных ромбоэдрических кристаллов с двойным лучепреломлением при взаимодействии хлорида никеля(II) и гидрокарбоната натрия в солянокислом растворе. Реакционную смесь автоклавируют при температуре 250 °С и давлении диоксида углерода 12 МПа. Жёлтая форма образуется в виде коллоидного продукта в тех же условиях, что и зелёная, но при температуре не выше 180 °С и более концентрированном растворе. Выход продуктов не превышает 25–30 %. Химические свойства зелёной и жёлтой форм аналогичны: они не взаимодействуют с концентрированными кислотами и кипящей водой, выше 400 °С разлагаются с выделением диоксида углерода.

Основной карбонат никеля(II) получают при действии горячего раствора карбоната натрия на соли двухвалентного никеля. Процесс описывается схемой:



Состав продукта реакции зависит от температуры исходных растворов, продолжительности синтеза и щёлочности среды. Обычно получают соединение, состав которого приближается к одной из формул: $\text{NiCO}_3 \cdot \text{Ni}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $2\text{NiCO}_3 \cdot 3\text{Ni}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ или $\text{NiCO}_3 \cdot 2\text{Ni}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. С увеличением температуры и значения pH массовая доля диоксида углерода в соли уменьшается.

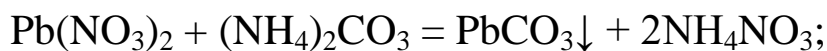
На теххимических весах взвешивают 28,1 г (0,1 моль) кристаллического гептагидрата сульфата никеля(II) и растворяют в 100 см³ горячей дистиллированной воды. Навеску карбоната натрия (около 12 г) переносят в плоскодонную термостойкую колбу вместимостью 500 см³, куда предварительно наливают цилиндром 200 см³ дистиллированной воды, и растворяют при нагревании. В нагретый до кипения раствор карбоната натрия порциями вливают раствор сульфата никеля(II). В результате выделения диоксида углерода раствор вспенивается. Очередную порцию приливают лишь после того, как поверхность раствора освободится от пены. После прибавления всего количества раствора сульфата никеля реакция среды должна оставаться щелочной.

Жидкость сливают с осадка декантацией, а осадок несколько раз промывают горячей водой. Промывку считают законченной, когда промывные воды покажут отрицательную реакцию на SO_4^{2-} -ион (проба с BaCl_2). Промытый осадок переносят на бумажный фильтр и отфильтровывают на воронке Бюхнера. Полученную пасту вместе с фильтром помещают в фарфоровую чашку и высушивают в сушильном шкафу при температуре не выше 40 °C. Получают мелкокристаллический порошок от светло-зелёного до изумрудного цвета. При комнатной температуре вещество стабильно, с повышением температуры частично дегидратируется, выше 100 °C отщепляет диоксид углерода и воду.

Опыт 1.6. Получение карбонатов свинца(II)

Известны средний карбонат свинца PbCO_3 , а также ряд основных карбонатов: $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$, $3\text{PbCO}_3 \cdot 2\text{Pb}(\text{OH})_2$, $5\text{PbCO}_3 \cdot 2\text{Pb}(\text{OH})_2$, состав которых можно выразить общей формулой $x\text{PbCO}_3 \cdot y\text{Pb}(\text{OH})_2$.

Средний карбонат свинца(II) выделяют в виде мелкокристаллического осадка из нейтральных или слабокислых водных растворов в результате обменных реакций:



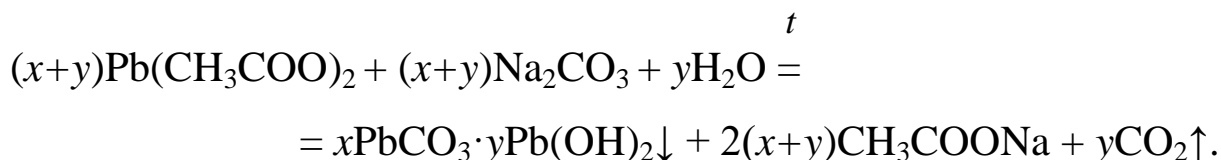
Осаждение ведут из холодных концентрированных растворов, насыщенных диоксидом углерода с целью подавления гидролиза образующегося карбоната свинца(II).

На теххимических весах взвешивают 37,9 г (0,1 моль) кристаллического тригидрата ацетата свинца(II) и растворяют навеску в 100 см³ холодной дистиллированной воды. В плоскодонную колбу вместимостью 500 см³ цилиндром наливают около 200 см³ воды и вносят навеску гидрокарбоната натрия массой около 20 г. Растворы охлаждают в ледяной бане, а затем смешивают, вливая в раствор гидрокарбоната натрия при перемешивании раствор ацетата свинца(II). Осаждение проводят в закрытом сосуде для уменьшения потерь диоксида углерода.

Выпавший белый осадок карбоната свинца отсасывают на воронке Бюхнера, промывают водой на фильтре до нейтральной реакции промывных вод и переносят в плоскодонную колбу с холодной дистиллированной водой. Полученную суспензию насыщают диоксидом углерода из аппарата Киппа для перевода примеси основного карбоната свинца в среднюю соль. Ток газа пропускают в 2–3 приёма по 1–2 минуты, между которыми колбу закрывают пробкой и энергично встряхивают.

Осадок отделяют декантацией, переносят на фильтр и отфильтровывают на воронке Бюхнера, затем вместе с фильтром помещают в фарфоровую чашку и высушивают при температуре не выше 40 °С. Вещество устойчиво при хранении на воздухе при комнатной температуре, выше 300 °С полностью распадается на PbO и CO₂. В холодной воде реактив практически не растворим ($\text{PR}(\text{PbCO}_3) = 1 \cdot 10^{-13}$ при 25 °С), при кипячении медленно теряет CO₂, переходя в основную соль.

Основной карбонат свинца(II) получают обработкой солей свинца(II) горячим раствором карбоната натрия:



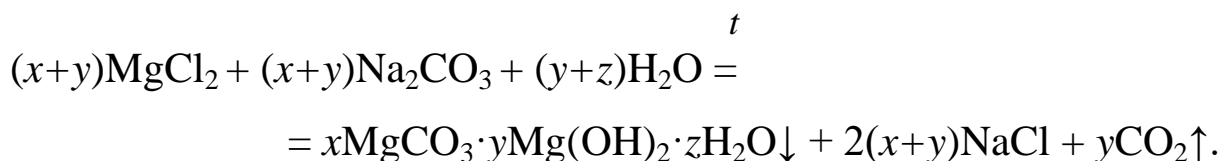
На технoхимических весах взвешивают 37,9 г (0,1 моль) кристаллического тригидрата ацетата свинца(II) и растворяют навеску в 100 см³ дистиллированной воды. В плоскодонную колбу вместимостью 500 см³ цилиндром наливают около 200 см³ воды, вносят навеску карбоната натрия массой около 12 г и растворяют при нагревании. К раствору ацетата свинца(II) порциями приливают нагретый до кипения раствор карбоната натрия. В результате выделения диоксида углерода раствор вспенивается. Очередную порцию приливают лишь после того, как поверхность раствора освободится от пены. Прибавление карбоната натрия прекращают, когда раствор приобретёт нейтральную или слабощелочную реакцию.

После отстаивания жидкость сливают декантацией, осадок несколько раз промывают горячей водой. Белый аморфный порошок основного карбоната свинца отсасывают на воронке Бюхнера, промывают водой на фильтре до нейтральной реакции промывных вод, переносят в фарфоровую чашку и высушивают при температуре не выше 40 °С. Вещество устойчиво при хранении на воздухе при комнатной температуре, при нагревании выше 180 °С теряет CO₂ и переходит в PbO (отчего приобретает жёлтую окраску), нерастворимо в воде и этиловом спирте.

Опыт 1.7. Получение карбонатов магния

Карбонаты магния широко распространены в природе. Среди них встречаются средние, кислые и основные карбонаты, существующие в виде кристаллогидратов и безводных солей.

Основной карбонат магния (белую магнезию) получают при взаимодействии солей магния с горячим раствором карбоната натрия. При использовании хлорида магния процесс описывается схемой:

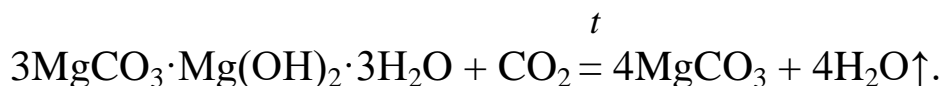


Состав продукта реакции зависит от температуры растворов и соотношения реагентов. Обычно получают продукт, состав которого приближается к одной из формул: $\text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ или $3\text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. С увеличением температуры и щёлочности раствора массовая доля диоксида углерода в соли уменьшается.

На теххимических весах взвешивают 20,3 г (0,1 моль) кристаллического гексагидрата хлорида магния и растворяют навеску в 100 см³ горячей дистиллированной воды. В плоскодонную термостойкую колбу вместимостью 500 см³ цилиндром наливают 200 см³ воды, вносят навеску карбоната натрия массой около 15 г и растворяют при нагревании. В кипящий раствор карбоната натрия при перемешивании приливают струйкой раствор хлорида магния до прекращения выделения диоксида углерода. Реакция жидкости должна оставаться щелочной. Смесь кипятят 5 минут, после отстаивания осадок несколько раз промывают декантацией теплой водой до нейтральной реакции промывных вод. Промывку считают законченной, когда промывные воды покажут отрицательную реакцию на Cl^- -ион (проба с AgNO_3).

Тщательно промытый осадок отфильтровывают на воронке Бюхнера, затем вместе с фильтром помещают в фарфоровую чашку и высушивают в сушильном шкафу при температуре не выше 70 °С. Получают белый лёгкий порошок почти нерастворимый в воде. При осторожном нагревании в вакууме вещество полностью дегидратируется.

Средний карбонат магния получают из основной соли, пропуская ток сухого диоксида углерода через трубку, заполненную основным карбонатом магния, нагретую до 150–220 °С:



Реакцию ведут до тех пор, пока масса порошка не станет постоянной. Продукт охлаждают в токе диоксида углерода.

Карбонат магния образует кристаллогидраты $\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ и $\text{MgCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ – блестящие игольчатые кристаллы моноклинной системы, медленно выветривающиеся на воздухе. При нагревании выше 100 °С реактив теряет воду и диоксид углерода, при

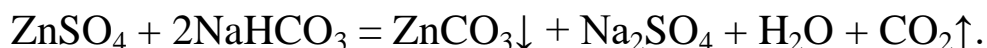
кипячении в воде гидролизуется. В воде практически не растворим ($ПР(MgCO_3) = 4 \cdot 10^{-5}$ при 25 °С).

Гидрокарбонат магния образуется при насыщении водной суспензии карбоната магния диоксидом углерода при охлаждении. Вещество хорошо растворимо в воде (растворимость в 100 г воды при 20 °С составляет 19 г, при 100 °С – 34,2 г), нерастворимо в этиловом спирте. Кристаллизуется в виде бесцветных ромбических кристаллов, состав которых отвечает формуле $Mg(HCO_3)_2 \cdot 2H_2O$.

Опыт 1.8. Получение карбонатов цинка

Для цинка известны средний карбонат, состав которого строго отвечает формуле $ZnCO_3$, и основные карбонаты переменного состава $xZnCO_3 \cdot yZn(OH)_2$.

Средний карбонат цинка получают при взаимодействии холодного водного раствора гидрокарбоната натрия, насыщенного диоксидом углерода, с растворами солей цинка:



На теххимических весах взвешивают 28,7 г (0,1 моль) кристаллического гептагидрата сульфата цинка и растворяют навеску в 50 см³ дистиллированной воды. В плоскодонную колбу вместимостью 500 см³ цилиндром наливают около 200 см³ холодной воды и вносят навеску гидрокарбоната натрия массой около 20 г. Колбу устанавливают в ледяную баню. Растворы исходных компонентов смешивают, приливая к раствору сульфата цинка при перемешивании раствор гидрокарбоната натрия. Прибавление гидрокарбоната натрия прекращают, когда раствор приобретает нейтральную реакцию.

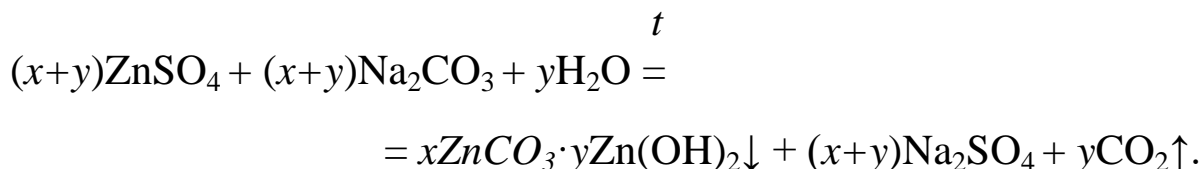
Суспензию белого цвета отстаивают, жидкость декантируют, а осадок несколько раз промывают холодной водой. Промывку считают законченной, когда промывные воды покажут отрицательную реакцию на SO_4^{2-} -ион (проба с $BaCl_2$). Тщательно промытый осадок отфильтровывают на воронке Бюхнера, используя наиболее плотный бумажный фильтр «синяя лента», затем переносят в колбу, установленную в ледяную баню, заливают холодной водой и насыщают суспензию диоксидом углерода из аппарата Киппа. Ток газа пропускают в 2–3 приёма по 1–2 мину-

ты, между которыми колбу закрывают пробкой и энергично перемешивают.

Осадок переносят на бумажный фильтр и отфильтровывают на воронке Бюхнера, затем вместе с фильтром помещают в фарфоровую чашку и высушивают при температуре не выше 40 °С.

Получают белый аморфный порошок устойчивый при хранении на воздухе при комнатной температуре. Выше 150 °С он разлагается с выделением диоксида углерода, в воде практически не растворим ($PP(ZnCO_3) = 1,5 \cdot 10^{-11}$ при 25 °С). При промывании тёплой водой частично, а при кипячении полностью переходит в основную соль.

Основной карбонат цинка получают обработкой солей цинка горячим раствором карбоната натрия. Процесс описывается схемой:



Состав продукта реакции зависит от температуры растворов и соотношения реагентов. Обычно образуются карбонаты, состав которых приближается к одной из формул: $ZnCO_3 \cdot Zn(OH)_2$, $2ZnCO_3 \cdot 3Zn(OH)_2$ или $ZnCO_3 \cdot 3Zn(OH)_2$. С увеличением температуры и значения рН массовая доля диоксида углерода в продукте уменьшается.

На теххимических весах взвешивают 28,7 г (0,1 моль) кристаллического гептагидрата сульфата цинка и растворяют навеску в 50 см³ дистиллированной воды. В плоскодонную термостойкую колбу вместимостью 500 см³ цилиндром наливают около 200 см³ воды, вносят навеску карбоната натрия массой около 15 г и растворяют при нагревании. В кипящий раствор карбоната натрия при перемешивании приливают тонкой струйкой раствор сульфата цинка до прекращения выделения диоксида углерода. Реакция жидкости должна оставаться щелочной.

Смесь кипятят 5 минут, после отстаивания осадок несколько раз промывают декантацией теплой водой до нейтральной реакции промывных вод. Промывку считают законченной, когда про-

мывные воды покажут отрицательную реакцию на SO_4^{2-} -ион (проба с BaCl_2).

Тщательно промытый осадок отфильтровывают на воронке Бюхнера, используя наиболее плотный бумажный фильтр «синяя лента», затем вместе с фильтром помещают в фарфоровую чашку и высушивают в сушильном шкафу при температуре не выше 80°C . Получают белый аморфный порошок устойчивый при хранении на воздухе при комнатной температуре. Выше 140°C вещество разлагается на оксид цинка, диоксид углерода и воду.

Опыт 2. Анализ карбонатов металлов

Состав карбонатов зависит от условий синтеза и лишь приблизительно отвечает указанным выше формулам. Точную формулу синтезированного карбоната устанавливают по количеству диоксида углерода, выделяющегося при разложении соли. Анализ выполняют газовым методом на лабораторной установке, схема которой представлена на рис. 1.

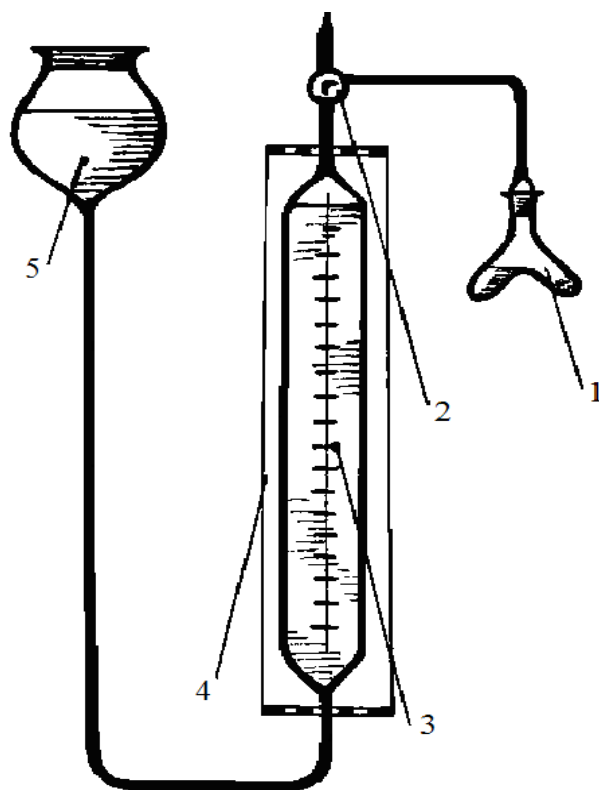


Рис. 1. Схема лабораторной установки для определения содержания диоксида углерода в карбонатах: 1 – склянка Оствальда; 2 – трёхходовой кран; 3 – газовая бюретка; 4 – стеклянная муфта; 5 – уравнивающий сосуд

Подготовка установки к работе. Собирают установку в соответствии с приведённой схемой и герметично соединяют её со склянкой Оствальда 1. При закрытом кране 2 заполняют уравнительный сосуд 5 примерно на $\frac{2}{3}$ объёма водой, подкисленной несколькими каплями серной кислоты (индикаторный раствор), после чего открывают кран и, вытесняя воздух из газовой бюретки 3, заполняют её. Поднимая или опуская уравнительный сосуд 5, доводят уровень жидкости в бюретке 3 точно до нулевой отметки, фиксируют положение уравнительного сосуда на штативе и закрывают кран.

Если количества жидкости в бюретке недостаточно для полного её заполнения, доливают в уравнительный сосуд необходимое количество индикаторного раствора, добиваясь установления его уровня на отметке «0».

Испытывают систему на герметичность, для чего опускают или поднимают уравнительный сосуд так, чтобы уровень жидкости в нём оказался выше или ниже уровня жидкости в бюретке, и в таком положении сосуд укрепляют. При изменении положения уравнительного сосуда уровень жидкости в бюретке несколько изменяется. Если через некоторое время дальнейшего самопроизвольного изменения не происходит, установку можно считать герметичной. Выравнивание уровней жидкости свидетельствует о плохой герметичности.

Выполнение анализа. На аналитических весах взвешивают (на часовом стекле или кальке) около 0,5–0,8 г исследуемого карбоната с точностью до 0,0002 г и количественно переносят навеску в одно из колен сухой склянки Оствальда (рис. 2). В другое колено через воронку с длинным концом наливают 8–10 см³ 4 н. раствора хлороводородной кислоты (для анализа карбонатов свинца используют 4 н. раствор азотной кислоты) и осторожно присоединяют склянку к установке.

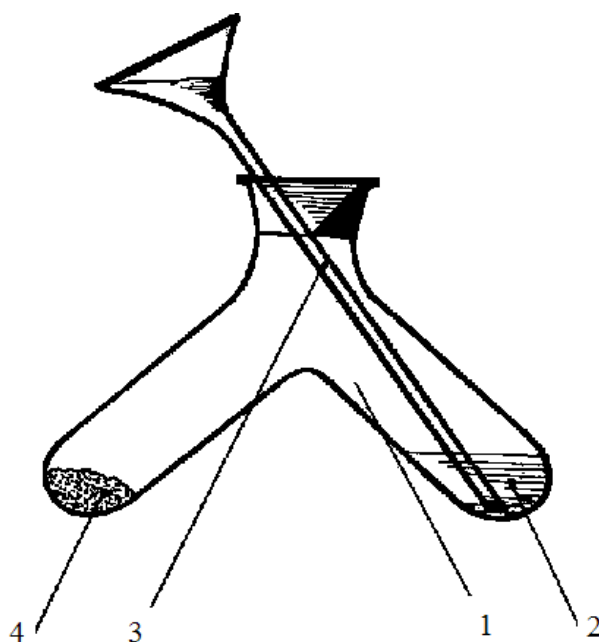


Рис. 2. Заполнение склянки Оствальда веществом и раствором кислоты: 1 – склянка Оствальда; 2 – раствор кислоты; 3 – воронка с длинным концом; 4 – навеска карбоната

Устанавливают уровень жидкости в газовой бюретке точно на отметке «0», изменяя положение уравнительного сосуда. Проверяют систему на герметичность и переводят трёхходовой кран в закрытое от внешней среды, но открытое на внутренней линии положение (рис. 3).

Наклоняя склянку Оствальда, приливают небольшими порциями кислоту в колено с навеской карбоната. Выделяющийся диоксид углерода вытесняет индикаторный раствор из газовой бюретки в уравнительный сосуд. По окончании реакции следует подождать несколько минут, чтобы газ в бюретке принял температуру окружающего воздуха, и выровнять уровни жидкости в бюретке и уравнительной склянке.

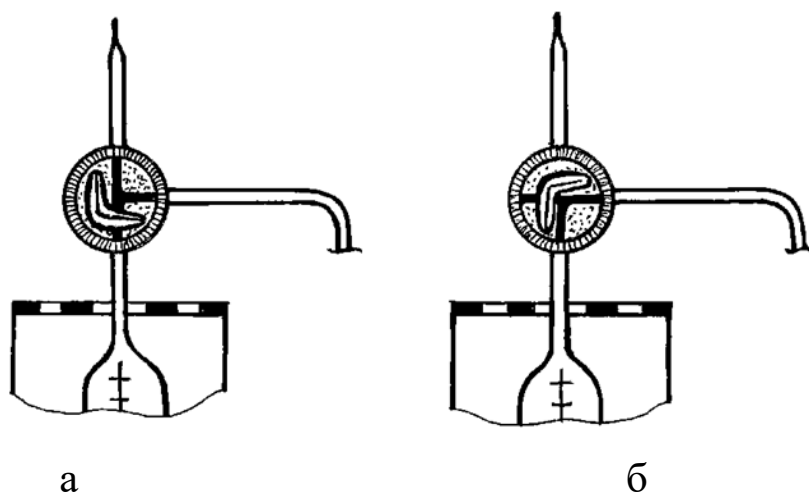


Рис. 3. Положение трёхходового крана при испытании и работе установки: а – открытое для сообщения с внешней средой; б – открытое на внутренней линии

Если в течение 1 минуты не наблюдается изменение уровней, определяют объём выделившегося газа по количеству вытесненного раствора. Измеряют температуру окружающего воздуха и атмосферное давление. Результаты эксперимента заносят в табл. 1.

Обработка результатов. Объём диоксида углерода, определённый по количеству вытесненной жидкости, приводят к нормальным условиям по формуле:

$$V_{CO_2}(\text{н.у.}) = \frac{V_{CO_2} \cdot T_0 \cdot P_{CO_2}}{P_0 \cdot T},$$

где V_{CO_2} – объём выделившегося диоксида углерода, см^3 ; P_{CO_2} – парциальное давление диоксида углерода, Па; T – температура выделившегося газа (принять равной температуре окружающего воздуха), К; P_0 и T_0 – давление и температура, соответствующие нормальным условиям, $P_0 = 101325$ Па; $T_0 = 273$ К.

Таблица 1

Результаты анализа

Навеска карбоната, m , г	Температура воздуха, T , К	Атмосферное давление, P , Па	Парциальное давление CO_2 , P_{CO_2} , Па	Объём CO_2 , V_{CO_2} , см^3	Содержание CO_2 в карбонате, ω , % (масс.)

Обработка результатов. Объём диоксида углерода, определённый по количеству вытесненной жидкости, приводят к нормальным условиям по формуле:

$$V_{CO_2}(\text{н.у.}) = \frac{V_{CO_2} \cdot T_0 \cdot P_{CO_2}}{P_0 \cdot T},$$

где V_{CO_2} – объём выделившегося диоксида углерода, см³; P_{CO_2} – парциальное давление диоксида углерода, Па; T – температура выделившегося газа (принять равной температуре окружающего воздуха), К; P_0 и T_0 – давление и температура, соответствующие нормальным условиям, $P_0 = 101325$ Па; $T_0 = 273$ К.

Парциальное давление диоксида углерода вычисляют, вычитая из атмосферного давления парциальное давление насыщенного водяного пара при температуре окружающего воздуха:

$$P_{CO_2} = P - P_{H_2O}.$$

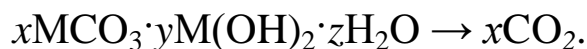
Парциальное давление насыщенного водяного пара при различной температуре находят по табл. 2. Растворимостью диоксида углерода в индикаторном растворе, имеющем кислую реакцию, пренебрегают (растворимость диоксида углерода в дистиллированной воде при температуре 25 °С и давлении 101325 Па составляет 770 см³/дм³).

Таблица 2

Давление насыщенного водяного пара

Температура, t , °С	Давление пара, P_{H_2O} , Па	Температура, t , °С	Давление пара, P_{H_2O} , Па
11	1312,20	21	2486,04
12	1402,05	22	2642,34
13	1497,09	23	2808,36
14	1597,87	24	2982,85
15	1704,64	25	3166,67
16	1817,41	26	3360,36
17	1936,85	27	3564,31
18	2063,08	28	3778,92
19	2196,38	29	4004,73
20	2337,55	30	4242,14

Рассчитывают количество вещества диоксида углерода, содержащегося в исходной навеске карбоната, и молярную массу (M , г/моль) полученной соли, основываясь на расчётной схеме:



Принимая $x = 1$, определяют соотношение коэффициентов y и z , при котором выполняется условие:

$$M = x \cdot M_{\text{MCO}_3} + y \cdot M_{\text{M(OH)}_2} + z \cdot M_{\text{H}_2\text{O}},$$

где M_{MCO_3} , $M_{\text{M(OH)}_2}$ и $M_{\text{H}_2\text{O}}$ – молярные массы фрагментов, входящих в состав анализируемого карбоната, г/моль.

Выводят формулу синтезированного карбоната и вычисляют содержание диоксида углерода в анализируемом образце (ω , % (масс.)) по формуле

$$\omega = \frac{m_{\text{CO}_2}}{m_{\text{навески}}} \cdot 100\%.$$

Экспериментально найденные значения сравнивают со справочными данными о составе карбонатов и делают вывод по работе.

Техника безопасности

При выполнении работы необходимо строго соблюдать общие правила работы в химической лаборатории, изложенные в инструкции по технике безопасности.

Карбонаты металлов не представляют опасности для работающих при соблюдении всех требований безопасности. Вредное воздействие на организм могут оказывать горячие водные растворы карбоната натрия (соды). При работе с ними следует соблюдать особую осторожность, так как в результате разложения карбонатов некоторых металлов возможно вспенивание растворов и выброс горячей реакционной массы из колбы. Во избежание этого работу следует проводить в вытяжном шкафу, а реагенты приливать небольшими порциями при непрерывном перемешивании. Все операции по получению диоксида углерода в аппарате Киппа и анализу карбонатов газовым методом следует выполнять в соответствии с методическими указаниями.

При работе с солями металлов следует помнить, что они обладают токсичностью, раздражающе действуют на кожу и слизистые оболочки. Соединения свинца, марганца и меди являются сильнейшими ядами, действующими на всё живое и вызывающими изменения в нервной системе, крови и сосудах. Следует избегать образования аэрозолей солей в воздухе (например, при пересыпании или измельчении реактивов), отработанные растворы сливать в склянки для слива.

Работать в лаборатории разрешается только в халате, в случае необходимости следует использовать индивидуальные средства защиты. К выполнению работы студенты допускаются после инструктажа по технике безопасности и допуска преподавателем.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятиям: электролитическая диссоциация, произведение растворимости, протолиз, гидролиз. Почему угольная кислота относится к числу слабых электролитов, а её растворимые соли в водных растворах являются сильными электролитами?

2. Назовите основные способы получения карбонатов, приведите уравнения реакций, укажите условия их протекания.

3. Опишите физические и химические свойства карбонатов и гидрокарбонатов щелочных и щелочноземельных металлов, средних и основных карбонатов *p*- и *d*-элементов.

4. Карбонаты широко распространены в природе и образуют собственные минералы, некоторые карбонаты являются важными химическими продуктами. Приведите формулы соединений, которым соответствуют следующие названия: сода кальцинированная, сода пищевая, сода кристаллическая, поташ, магнезит, кальцит, доломит, малахит, азурит, белила свинцовые, смитсонит, це-руссит, сидерит, родохрозит.

5. Что такое «сухой лёд»? Каковы области его применения? Почему при растворении «сухого льда» в воде раствор сильно охлаждается и приобретает кислую реакцию?

6. Почему карбонаты кальция, магния, железа(II) и других металлов растворяются в воде, насыщенной диоксидом углерода? Напишите соответствующие уравнения и объясните процесс растворения.

7. Как протекает взаимодействие карбоната натрия с водными растворами хлорида кальция, хлорида меди(II) и хлорида алюминия? Напишите уравнения реакций.

8. В лабораторной практике для получения некоторых оксидов часто используют термическое разложение карбонатов соответствующих металлов. Какие оксиды можно получить при термическом разложении карбоната марганца(II), если нагреть вещество в вакууме до 100 °С? Прокалить на воздухе? Прокалить в токе кислорода?

Лабораторная работа 8

Тема: Синтез и анализ пентагидрата тиосульфата натрия

Цель работы: синтезировать пентагидрат тиосульфата натрия, установить содержание основного вещества в синтезированном образце методом йодометрического титрования и изучить химические свойства полученного соединения.

Приборы и реактивы

Оборудование: весы теххимические, весы аналитические, фарфоровая ступка с пестиком, сушильный шкаф, ледяная баня, водяная баня, электроплитка, спиртовка, пульверизатор, стальной тигель, стеклянные бюксы, колбы мерные вместимостью 250 см³, колбы конические вместимостью 50 и 250 см³, мерные цилиндры на 20 и 100 см³, стаканы химические вместимостью 200 см³, воронки химические, установка для фильтрования, фильтры стеклянные, воронка Бюхнера, колба Бунзена, мерные пипетки на 20 см³, бюретка на 25 см³, колба грушевидная с капилляром на 50 см³, микропробирки, стеклянные палочки, часовые стёкла, сетка асбестированная, фильтровальная бумага, универсальная индикаторная бумага, кипелки.

Реактивы: сульфит натрия (крист.), сера молотая (крист.), пентагидрат тиосульфата натрия (крист.), крахмал (0,5%-й раствор), серная кислота (2 н.), йод (0,1 н.), хлорная вода, бромная вода, йодная вода, спирт этиловый, дистиллированная вода.

Опыт 1. Синтез $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

На теххимических весах взвешивают 25,2 г (0,2 моль) кристаллического сульфита натрия и переносят его в коническую колбу вместимостью 250 см³, куда предварительно наливают цилиндром 80–100 см³ дистиллированной воды. Соль растворяют при перемешивании, затем колбу устанавливают на асбестированную сетку и нагревают на электроплитке, периодически помешивая.

Отметьте, как протекает растворение сульфита натрия – эндо- или экзотермически? Пользуясь справочной литературой, найдите значения коэффициента растворимости этой соли при

различной температуре. Как изменяется растворимость сульфита натрия при нагревании? Какую реакцию имеет водный раствор сульфита натрия? Почему?

Кристаллическую серу растирают в ступке до состояния мелкодисперсного порошка, берут навеску около 10 г (серу следует брать в избытке по сравнению со стехиометрическим количеством в 1,5–2 раза) и, смочив серу спиртом, переносят в колбу с тёплым раствором сульфита натрия. Спирт необходим для лучшего смачивания серы, иначе она не смачивается водным раствором и плавает на поверхности. В колбу бросают кипелки для равномерного кипения и нагревают её содержимое на электроплитке, при этом сера медленно растворяется и взаимодействует с сульфитом натрия. Нагревание суспензии прекращают тогда, когда сера перестанет растворяться и раствор покажет нейтральную реакцию на лакмус. Обычно синтез заканчивается в течение 1 часа. Если в процессе нагревания объём раствора в колбе сильно уменьшится, его восполняют, добавляя небольшими порциями теплую дистиллированную воду из промывалки.

Запишите в лабораторном журнале уравнение реакции, лежащей в основе получения тиосульфата натрия. Рассчитайте количества тиосульфата натрия и его пентагидрата, которые можно получить теоретически. Объясните, почему серу рекомендуют брать в избытке по отношению к сульфиту натрия? Почему на завершающем этапе синтеза раствор приобретает нейтральную реакцию?

Полученный горячий раствор слегка охлаждают, отстаивают и отделяют избыток не прореагировавшей серы фильтрованием на воронке Бюхнера. Раствор сливают на фильтр по стеклянной палочке, стараясь не взмучивать осадок, для фильтрования используют наиболее плотный бумажный фильтр (синяя лента). Фильтрат переливают в термостойкий стеклянный стакан вместимостью 200 см³ и, помешивая, осторожно упаривают до начала кристаллизации на электроплитке с асбестированной сеткой. В этот момент на поверхности раствора образуется едва заметная солевая плёнка.

Раствор охлаждают на воздухе до комнатной температуры, а затем в ледяной бане до 5 °С. Выпавшие мелкие кристаллы отсасывают на стеклянном фильтре. В случае получения ненасыщен-

ного раствора массовой кристаллизации не наблюдается, тогда упаривание следует продолжить. Если же раствор получился пересыщенным, а кристаллы не выпадают, кристаллизацию следует ускорить внесением «затравки» (маленький кристаллик пентагидрата тиосульфата натрия) или потерев стеклянной палочкой о стенки колбы. Полученные мелкие кристаллы пентагидрата тиосульфата натрия, содержащие незначительную примесь сульфита натрия, отделяют от маточного раствора фильтрованием на стеклянном фильтре, а затем перекристаллизовывают из спирта.

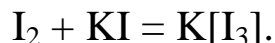
Перекристаллизацию проводят следующим образом. В коническую колбу вместимостью 50 см³ цилиндром наливают около 20 см³ этилового спирта и добавляют небольшими порциями полученные ранее кристаллы. Достигнув состояния насыщения при комнатной температуре (соль перестаёт растворяться и накапливается на дне колбы), колбу с содержимым переносят на электроплитку и медленно нагревают на асбестированной сетке, постоянно помешивая. Нагревание продолжают до получения насыщенного раствора. Растворимость пентагидрата тиосульфата натрия в воде довольно высокая, а в спирте он растворим хуже. Сульфит натрия практически нерастворим в горячем спирте, и его отделяют фильтрованием. Фильтрат охлаждают на воздухе, под струёй холодной воды и, наконец, в ледяной бане до возможно низкой температуры (5–10 °C). В процессе охлаждения раствор становится пересыщенным, и избыток реактива выпадает в осадок. Выпавшие прозрачные кристаллы тиосульфата натрия отфильтровывают на стеклянном фильтре, промывают холодным этиловым спиртом, сушат на воздухе, взвешивают, определяют практический выход, после чего приступают к анализу. Полученный таким образом и перекристаллизованный из спирта препарат обычно соответствует квалификации «ч.д.а.».

Опыт 2. Анализ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Анализ полученного пентагидрата тиосульфата натрия проводят методом йодометрического титрования.

Приготовление стандартного 0,1 н. раствора I_2 . Кристаллический йод мало растворим в воде, поэтому для приготовления рабочего раствора пользуются хорошей растворимостью йода в

растворе йодида калия, сопровождающейся образованием комплексного соединения



Комплексный ион $[\text{I}_3]^-$ имеет малую константу устойчивости, легко диссоциирует на I^- -ионы и I_2 и в растворах ведёт себя так же, как I_2 .

На аналитических весах взвешивают в стеклянном бюксе 3,1750 г очищенных возгонкой кристаллов йода и закрывают бюкс крышкой. На технохимических весах взвешивают около 9 г кристаллического йодида калия и растворяют навеску в 50 см³ дистиллированной воды. Получают ~15%-й раствор KI, который порциями приливают в бюкс с навеской йода, закрывают бюкс крышкой и перемешивают круговыми движениями. Насыщенный раствор йода сливают через воронку в мерную колбу вместимостью 250 см³, к не растворившейся части навески прибавляют новую порцию раствора йодида калия. Раствор в колбе доводят водой до метки, перемешивают, хранят в тёмном прохладном месте. Концентрацию раствора йода уточняют по стандартному 0,1 н. раствору тиосульфата натрия, вводят поправочный коэффициент. Стандартный 0,1 н. раствор йода готовит лаборант до начала работы.

Приготовление рабочего 0,1 н. раствора $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Рассчитывают количество соли, необходимое для получения 250 см³ 0,1 н. раствора (в расчёте на безводный $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$). На аналитических весах берут точную навеску кристаллогидрата (на часовом стекле) и количественно переносят её в мерную колбу вместимостью 250 см³, смывая соль со стекла дистиллированной водой. Раствор в колбе доводят водой до метки. Приготовленным раствором заполняют бюретку на 25 см³.

Ход анализа. В коническую колбу на 250 см³ мерной пипеткой отбирают аликвотную часть (20 см³) стандартного 0,1 н. раствора йода, цилиндром прибавляют около 50 см³ дистиллированной воды и титруют из бюретки рабочим 0,1 н. раствором тиосульфата натрия до перехода бурого окрашивания в соломенно-жёлтое. Затем вносят 1–2 см³ раствора крахмала и продолжают титрование до полного обесцвечивания. Продуктом реакции является бесцветный тетрагидрат натрия – $\text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6$, при этом

1 моль экв. йода соответствует 1 моль экв. тиосульфата натрия. Титрование повторяют 2–3 раза до достижения удовлетворительной сходимости результатов. По результатам титрования рассчитывают содержание пентагидрата тиосульфата натрия в образце (% (масс.)).

Опыт 3. Изучение свойств $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Опыт 3.1. Дегидратация кристаллогидрата $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Поместите в стеклянный бюкс несколько кристаллов свежеполученного пентагидрата тиосульфата натрия, отметьте их цвет, форму, механическую прочность. Поместите бюкс в сушильный шкаф, нагретый до температуры 45–50 °С, и выдержите при этой температуре 10 минут. Опишите изменения, происходящие с веществом в процессе нагревания. Увеличьте температуру до 85–90 °С и выдержите бюкс с веществом при этой температуре ещё 10 минут. Испытайте обезвоженные кристаллы на механическую прочность, отметьте их цвет. Охладите бюкс до комнатной температуры и слегка увлажните поверхность кристаллов, опрыскав водой из пульверизатора. Как изменилась их окраска? Запишите схему последовательных превращений, происходящих с веществом при нагревании, укажите условия.

Опыт 3.2. Термическое разложение тиосульфата натрия

Разотрите в ступке некоторое количество кристаллического тиосульфата натрия до порошкообразного состояния. Часть вещества поместите в стальной тигель и прокалите в пламени спиртовки в течение 10 минут, периодически помешивая. Охладите тигель до комнатной температуры. В две пробирки налейте по несколько капель воды. В одну пробирку внесите небольшое количество размолотого тиосульфата натрия, а в другую – остаток после прокаливания. Отметьте различную растворимость веществ. Какие изменения произошли с тиосульфатом натрия при нагревании? Какие вещества образовались в результате термического разложения тиосульфата натрия? Докажите их присутствие, выполнив качественные реакции.

Опыт 3.3. Кристаллизация $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ из переохлаждённого расплава

В стеклянную грушевидную колбу с узким горлом на одну треть объёма насыпьте кристаллический пентагидрат тиосульфата натрия. Осторожно нагрейте колбу на горячей водяной бане до момента плавления кристаллов и получения бесцветного расплава. Закройте колбу пробкой и медленно охладите до комнатной температуры. После этого с помощью стеклянного капилляра введите в переохлаждённый расплав кристаллик исходного вещества. Наблюдайте кристаллизацию пентагидрата тиосульфата натрия, зарисуйте форму образующихся кристаллов, сравните её с формой исходного кристаллического материала. Через несколько минут, когда вся жидкость затвердеет, дотроньтесь рукой до колбы. Чем объясняется экзотермичность процесса кристаллизации? До какой температуры нагрелся расплав?

Опыт 3.4. Взаимодействие тиосульфата натрия с кислотами

Внесите в пробирку несколько капель раствора тиосульфата натрия и прибавляйте по каплям 2 н. раствор серной кислоты. Отметьте образование осадка и выделение газа. Какие вещества образуются при разложении тиосульфата натрия в кислой среде? Напишите уравнение реакции, укажите окислитель и восстановитель. Повторите опыт, изменив порядок приливания реагентов: в пробирку с 2 н. раствором серной кислоты прибавляйте по каплям раствор тиосульфата натрия. В каком случае наблюдается более быстрое образование осадка? Почему? Как влияет концентрация катионов водорода в растворе на скорость разложения тиосульфата натрия?

Опыт 3.5. Восстановительные свойства тиосульфата натрия

В три пробирки внесите по несколько капель раствора тиосульфата натрия. В первую пробирку прибавьте 6–8 капель хлорной воды, во вторую – столько же бромной воды, в третью – йодной воды. Наблюдайте обесцвечивание растворов во всех случаях. Напишите уравнения протекающих реакций, назовите про-

дукты. Какие свойства проявляет тиосульфат натрия в этих реакциях? Как влияет природа галогена на направление реакций?

Техника безопасности

При выполнении работы необходимо строго соблюдать общие правила работы в химической лаборатории, изложенные в инструкции по технике безопасности.

Тиосульфат натрия не представляет опасности для работающих при соблюдении всех требований безопасности. Вредное воздействие на организм могут оказывать продукты его разложения – диоксид серы и сероводород, а также водные растворы галогенов – хлора, брома и йода. Для предотвращения вредного воздействия этих веществ работу с ними следует проводить в вытяжном шкафу.

Работать в лаборатории разрешается только в халате, в случае необходимости следует использовать индивидуальные средства защиты. К выполнению работы студенты допускаются после инструктажа по технике безопасности и допуска преподавателем к работе.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные способы получения тиосульфата натрия, приведите уравнения реакций, укажите условия их протекания.

2. Опишите строение тиосульфат-иона. Определите степень окисления атомов серы. На основе электронного строения иона $S_2O_3^{2-}$ объясните неустойчивость тиосульфатов в кислой среде.

3. Охарактеризуйте окислительно-восстановительные свойства тиосульфатов, приведите уравнения реакций.

4. Назовите аналитические методы качественного и количественного определения тиосульфатов. Опишите порядок йодометрического титрования раствора тиосульфата натрия.

5. Перечислите основные области применения тиосульфата натрия. Поясните значение технических названий «фиксаж», «антихлор».

6. Поясните, почему водный раствор тиосульфата натрия имеет нейтральную реакцию, раствор сульфита натрия – щелоч-

ную, а раствор сульфида натрия – сильнощелочную. Приведите уравнения реакций.

7. Запишите уравнения реакций, которые протекают на поверхности светочувствительного слоя фотоматериала в ходе его проявления (восстановление бромида серебра) и закрепления (растворение бромида серебра в избытке тиосульфата натрия с образованием дитиосульфатоаргената (I) натрия).

8. Каким способом можно достичь переохлаждения раствора? Приведите примеры веществ, способных существовать в виде переохлаждённых жидкостей при стандартных условиях.

Список рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Камышов, В. М. Строение вещества : учебное пособие / В. М. Камышов, Е. Г. Мирошникова, В. П. Татауров. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 236 с. — ISBN 978-5-8114-2313-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/169154> (дата обращения: 13.06.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Корнеева, В. В. Строение вещества : учебное пособие / В. В. Корнеева, А. Н. Корнеева, В. А. Небольсин. — Воронеж : Воронежский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2019. — 86 с. — ISBN 978-5-7731-0745-3. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/93295.html> (дата обращения: 22.06.2025). — Режим доступа: для авторизир. пользователей

Дополнительная литература

1. Общая и неорганическая химия : учебно-методическое пособие : [16+] / Н. Ш. Мифтахова, Т. П. Петрова, И. Ф. Рахматуллина [и др.] ; под ред. А. М. Кузнецова ; Казанский национальный исследовательский технологический университет. — Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2013. — 184 с. : ил., табл., схем. — Режим доступа: по подписке. — URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=258711> (дата обращения: 28.04.2025). — Библиогр. в кн. — ISBN 978-5-7882-1488-7. — Текст : электронный.
2. Общая и неорганическая химия : учебное пособие : [16+] / В. В. Денисов, И. А. Денисова, В. М. Таланов, Т. И. Дровозова ; под ред. В. В. Денисова, В. М. Таланова. — Ростов-на-Дону : Феникс, 2013. — 576 с. : ил., схем., табл. — (Высшее образование). — Режим доступа: по подписке. — URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=271598> (дата обращения: 02.05.2025). — Библиогр. в кн. — ISBN 978-5-222-20674-4. — Текст : электронный.