

УЧЕБНИК ДЛЯ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ

НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ



ПРАКТИКУМ



Лаборатория
ЗНАНИЙ

НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

ПРАКТИКУМ

Под редакцией
профессора, доктора химических наук
А. В. Шевелькова

Рекомендовано
Федеральным учебно-методическим объединением
в системе высшего образования по укрупненной группе
специальностей и направлений подготовки 04.00.00 Химия
в качестве учебного пособия для обучающихся по основным
образовательным программам высшего образования
уровня бакалавриат и специалитет по направлению
подготовки 04.03.01 и специальности 04.05.01



Москва
Лаборатория знаний

2021

УДК 544+546(075.8)

ББК 24.1:528я73

Н52

Неорганическая химия. Практикум / Е. И. Ардашникова, Е. Д. Демидова, В. А. Алёшин ; под ред. А. В. Шевелькова. — М. : Лаборатория знаний, 2021. — 473 с. : ил.

ISBN 978-5-00101-031-9

В практикуме рассмотрены основные приемы безопасной работы в химической лаборатории с целью изучения физико-химических основ неорганической химии и химии *s*-, *p*-, *d*- и *f*-элементов. Все опыты и методики синтеза отработаны и выверены, что обеспечивает их успешное выполнение, а разнообразие представленных опытов позволяет преподавателям сделать необходимую подборку для различных по трудоемкости учебных курсов. Также приведен большой справочный материал, который может быть использован для самостоятельной научной и аудиторной работы студентов.

Представленное учебное пособие является составной частью учебно-методического комплекта, включающего учебник и задачник с планами семинарских занятий и вариантами экзаменационных заданий, написанного сотрудниками кафедры неорганической химии химического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова под редакцией проф. А. В. Шевелькова.

Для студентов, преподавателей и научных сотрудников химических вузов.

УДК 544+546(075.8)

ББК 24.1:528я73

Учебное издание

Ардашникова Елена Иосифовна

Демидова Елена Дмитриевна

Алёшин Владимир Алексеевич

НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ.

ПРАКТИКУМ

Ведущий редактор канд. хим. наук *Д. К. Новикова*

Художественный редактор *В. А. Прокудин*

Технический редактор *Т. Ю. Федорова*. Корректор *И. Н. Панкова*

Компьютерная верстка: *В. И. Савельев*

Подписано в печать 01.09.20. Формат 70×100/16.

Усл. печ. л. 39,00. Заказ

Издательство «Лаборатория знаний»

125167, Москва, проезд Аэропорта, д. 3

Телефон: (499) 157-5272

e-mail: info@pilotLZ.ru, <http://www.pilotLZ.ru>

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее руководство к лабораторным и практическим занятиям ставит своей целью систематическое изучение основных свойств химических элементов и их соединений с позиций Периодического закона Д. И. Менделеева, а также освоение обучающимися приемов лабораторного эксперимента.

Представленное учебное пособие является составной частью учебно-методического комплекта, включающего задачник с планами семинарских занятий и вариантами экзаменационных заданий и учебник «Неорганическая химия» под редакцией проф. А. В. Шевелькова. Учебное пособие полностью соответствует стандартам образовательной программы для классических университетов по специальности «Химия» и предназначено для студентов, изучающих неорганическую химию. Рекомендуются для использования на химических факультетах университетов и в других химических вузах.

В части I практикума изложены основные приемы безопасной работы в химической лаборатории. Часть II посвящена изучению физико-химических основ неорганической химии и содержит задачи по тепловым эффектам и скорости химических реакций, химическому равновесию, свойствам растворов, электролитической диссоциации. В части III–V включены опыты по изучению химии *s*-, *p*-, *d*- и *f*-элементов и методики синтеза их соединений.

В разделах, посвященных химии элементов, представлены практические задания, иллюстрирующие свойства неорганических соединений и их реакционную способность, а также методики синтезов неорганических соединений, которые студенты могут выполнять при изучении курса неорганической химии. Синтезы подразделяются на два уровня сложности: а) синтезы (с идентификацией) и дополнительные опыты для общего практикума; б) синтезы повышенной сложности, требующие использования специального лабораторного оборудования и приборов. Для описания выполняемых операций используются иллюстрации. Все опыты и методики отработаны и выверены, что обеспечивает их успешное выполнение. Разнообразие представленных опытов позволяет преподавателям сделать необходимую подборку для различных по трудоемкости учебных курсов.

Приложение практикума содержит информацию о требованиях, предъявляемых к курсовым работам по неорганической химии и рекомендации по выполнению и оформлению курсовых и дипломных квалификационных работ по разнообразным химическим дисциплинам.

Большой справочный материал (термодинамические характеристики неорганических веществ, стандартные электродные потенциалы в виде диаграмм Латимера, константы кислотно-

сти и основности K_a и K_b , произведения растворимости, растворимость, потенциалы ионизации и др.), необходимый при выполнении практических заданий и курсовых работ, объяснения наблюдаемых закономерностей, приводится в виде таблиц в Приложении. Он может быть использован для самостоятельной научной и аудиторной работы студентов.

При написании практикума использован многолетний опыт коллектива кафедры неорганической химии химического факультета МГУ. Соблюдаются традиции практикумов, по которым учились, а затем и преподавали авторы настоящего издания.

1. Практикум по неорганической химии: учеб. пособие для ун-тов / О. Г. Немкова, Е. И. Бурова, О. И. Воробьева [и др.] / Под ред. В. И. Спицына. — М.: Изд-во Московского ун-та, 1965. — 318 с.

2. Практикум по неорганической химии: учеб. пособие для химических спец. вузов / О. И. Воробьева, Е. А. Ипполитова, О. Г. Немкова [и др.] / Под ред. В. И. Спицына. — М.: Изд-во Московского ун-та, 1976. — 295 с.

3. Практикум по неорганической химии: учеб. пособие для химических спец. вузов / О. И. Воробьева, К. М. Дунаева, Е. А. Ипполитова, Н. С. Тамм / Под ред. В. И. Спицына. — 2-е изд. — М.: Изд-во Московского ун-та, 1984. — 296 с.

4. Практикум по неорганической химии: учеб. пособие для вузов по направлению и спец. «Химия» / О. И. Воробьева, К. М. Дунаева, Ю. М. Киселев [и др.] / Под ред. В. П. Зломова. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1994. — 296 с.

5. Практикум по неорганической химии: учеб. пособие для студентов высших учебных заведений / В. А. Алешин, К. М. Дунаева, А. И. Жиров [и др.] / Под ред. Ю. Д. Третьякова. — М.: Издательский центр «Академия», 2004. — 384 с.

При подготовке нового издания практикума учтены изменения учебной программы и особенности использования современного лабораторного оборудования, усовершенствовано содержание задач. Введены новые практические задания и пересмотрены методики синтезов. Особое внимание уделено технике лабораторных работ и безопасного проведения химического эксперимента.

Авторы благодарны всем преподавателям и сотрудникам кафедры неорганической химии МГУ имени М. В. Ломоносова, особенно профессору П. Е. Казину, доцентам Е. В. Карповой, М. Е. Тамм, М. Г. Розовой, С. Я. Истомину, Р. В. Панину, В. Д. Долженко, Д. О. Чаркину, старшему преподавателю Ю. А. Белоусову за ценные советы, дополнения и замечания.

ЧАСТЬ I

ТЕХНИКА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. ПРАВИЛА РАБОТЫ В ХИМИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ

1.1. Подготовка к проведению химического эксперимента

Проведение химического эксперимента связано с повышенной опасностью, поэтому работать в лаборатории можно только после основательной предварительной подготовки. Необходимо внимательно изучить описания опытов и синтезов, ознакомиться по учебным и справочным пособиям со свойствами изучаемых и используемых веществ, с теоретическим материалом по данной теме, провести необходимые расчеты и оформить рабочий журнал. Особое внимание следует уделить проблемам безопасного выполнения химического эксперимента.

В практикуме студенту отводится рабочее место, которое он должен поддерживать в чистоте и порядке. На рабочем столе во время занятий могут находиться только необходимые для работы в данное время предметы. Все работы, за небольшим исключением, выполняются студентом индивидуально.

Студент должен быть одет в рабочий халат из хлопковой ткани, застегивающийся спереди. В кармане халата всегда должно быть маленькое полотенце или небольшой кусок хлопковой ткани. Для работы в практикуме необходимо иметь защитные очки, перчатки, спички (или зажигалку). Волосы должны быть тщательно убраны и надежно закреплены. Не следует приходить в лабораторию в легко воспламеняющейся одежде из синтетики, в обуви на высоких каблуках.

1.2. Правила безопасности при работе в лаборатории

1. Перед выполнением эксперимента тщательно продумайте и подготовьте план работы, получите одобрение у преподавателя. Любое действие, особенно выполняемое впервые, обязательно согласуйте с преподавателем или лаборантом.

2. При входе в лабораторию наденьте рабочий халат.

3. В практикуме всегда следует носить защитные очки (или маску).

4. Не покидайте без необходимости свое рабочее место.

5. Не принимайте пищу в лаборатории. Перед выходом из лаборатории тщательно вымойте руки с мылом.

6. Все опыты с ядовитыми, едкими, пахучими веществами выполняйте только в вытяжном шкафу, надев перчатки и защитные очки (или маску).

7. Выделяющиеся при реакции газы и пары не нюхайте и не вдыхайте.

8. Концентрированные растворы (в первую очередь кислоты) при разбавлении водой всегда приливайте к воде, а не наоборот.

9. Химические реактивы берите шпателем, ложечкой или пинцетом (но не руками!).

10. При отборе любых жидкостей пипетками пользуйтесь пипетаторами.

11. Все необходимые для работы вещества и растворы готовьте заранее.

12. Перед проведением опыта или синтеза проверяйте работу оборудования.

13. К синтезу приступайте только после одобрения преподавателем качества сборки прибора и проверки правильности подготовки исходных реагентов.

14. Не оставляйте прибор без присмотра!

15. Все химические эксперименты выполняйте стоя, не сидите возле работающего прибора.

16. При нагревании пробирок не направляйте отверстие пробирки на себя или соседа.

17. Не наклоняйтесь над приборами, в которых идет синтез, выпаривание, сплавление, фильтрование при пониженном давлении (под вакуумом) и т. п.

18. Опасные продукты реакции выливайте только в соответствующие банки в вытяжном шкафу.

19. Неизрасходованные реактивы ни в коем случае не высыпайте (не выливайте) обратно в склянки, сдайте их лаборанту.

Выполнение этих несложных правил должно сделать работу в лаборатории безопасной, но если несчастный случай все же произошел, необходимо уметь оказать первую помощь, а затем обратиться к врачу.

1.3. Оказание неотложной помощи

Возгорание одежды. При возгорании одежды немедленно потушите огонь водой из специального душа или из ближайшей раковины. Если воды поблизости нет, то пламя можно сбить, повалившись на пол горящим участком одежды вниз. Для тушения одежды набросьте на место горения специальную кошму из негорючего материала.

Термический ожог. Если ожог слабый и на небольшом участке, обработайте пораженное место соответствующими средствами из аптечки. Места большого ожога закройте стерильным бинтом и обратитесь к врачу. В этом случае не применяйте мази и масла. Не вскрывайте пузыри.

Химический ожог кожи. Обожженный участок промойте сильной струей воды, после этого при ожогах щелочами — 3%-м раствором борной кислоты, а при ожогах кислотами — 3%-м раствором гидрокарбоната натрия. Ожоги от брома промойте 3%-м раствором тиосульфата натрия.

При попадании на кожу концентрированной серной кислоты или оксида фосфора(+5) немедленно удалите их сухой тканью, а затем промойте сильной струей воды.

Ожог глаз. Немедленно многократно промойте глаза струей воды комнатной температуры. Сразу же обратитесь к врачу.

Отравление газами и парами. Пострадавшего как можно скорее выведите на свежий воздух.

Отравление ядами. Вызовите у пострадавшего сильную рвоту, дав ему выпить насыщенный раствор поваренной соли, чтобы удалить яд из желудка. Немедленно вызовите врача.

Порез. Края раны обработайте антисептиком (3%-м раствором пероксида водорода и 5%-м спиртовым раствором иода) и закройте стерильным пластырем или бинтом. При повреждении артерии наложите жгут на конечность и немедленно вызовите врача.

1.4. Оформление рабочего журнала

При работе в практикуме студенты ведут рабочий журнал. Примеры оформления рабочего журнала приведены ниже (см. табл. 1.1 и 1.2 на с. 10–11).

Для рабочего журнала рекомендуется использовать тетрадь в клетку формата А4 или готовые трафареты рабочих журналов. Трафареты размещены на сервере дистанционного обучения химического факультета МГУ (<http://vle3.chem.msu.ru/>) в курсе «Неорганическая химия для химиков».

Оформление журнала проводится заранее.

Вначале укажите тему, название опыта или синтеза и дату его проведения. Внесите в журнал:

а) полные схемы всех приборов;

б) уравнения всех химических реакций (коэффициенты для окислительно-восстановительных реакций, проходящих в растворах, подберите методом электронно-ионного баланса);

в) расчеты исходных количеств веществ и теоретического выхода получаемых соединений;

г) физико-химические свойства исходных и синтезируемых веществ (строение, агрегатное состояние, цвет, температура плавления и/или кипения, плотность, растворимость и др.);

д) план работы — перечень последовательных операций с указанием условий проведения опыта и количеств исходных веществ (методику синтеза не переписывайте!).

В ходе выполнения экспериментальной работы в рабочий журнал занесите:

а) результаты взвешивания, измерения объема, определения плотности и т. д. исходных реагентов и продуктов реакции;

б) реальные режимы синтеза (температура, время, скорость смешивания (прибавления) реагентов, скорость пропускания газа и т. д.).

Особое внимание следует уделить описанию наблюдаемых явлений: изменению окраски, выделению газов, выпадению осадков. Кристаллические вещества рекомендуется рассмотреть под микроскопом и отметить (зарисовать) форму кристаллов.

После завершения экспериментальной работы напишите отчет о выполненной работе, включив в него:

а) расчет выхода в процентах (для синтезов);

б) краткие выводы, объяснение наблюдаемых явлений и ответы на вопросы.

После окончания работы сдайте преподавателю полученный препарат вместе с отчетом о проведении синтеза. Синтезированное вещество должно быть помещено в бюкс или пробирку (рис. 1.1). На этикетке укажите свою фамилию, № группы, формулу полученного вещества, его массу и дату проведения опыта.

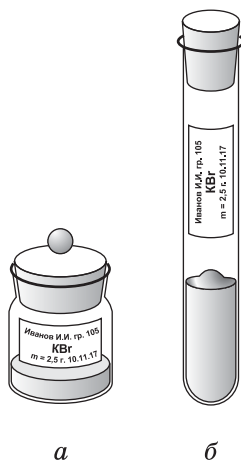


Рис. 1.1. Бюкс (а) и пробирка (б) с полученными препаратами

Примеры оформления рабочего журнала (опыты и синтезы)

Таблица 1.1. Проведение опыта

Название опыта: «Произведение растворимости» Дата 23.09.2020		
План работы	Уравнения реакций	Наблюдения
Осаждение труднорастворимых солей <ul style="list-style-type: none"> Налейте в три пробирки по 2–3 мл растворов хлоридов бария, стронция и кальция соответственно: <ol style="list-style-type: none"> 1) в первую пробирку прилейте раствор сульфата натрия; 2) во вторую — насыщенный раствор сульфата кальция; 3) в третью — насыщенный раствор сульфата стронция 	$\text{BaCl}_2 + \dots \rightarrow \dots$ $\text{SrCl}_2 + \dots \rightarrow \dots$ $\text{CaCl}_2 + \dots \rightarrow \dots$	
<ul style="list-style-type: none"> Объясните образование осадков, пользуясь понятием произведения растворимости. Отметьте, в каких случаях при сливании растворов солей не происходит образования осадка 	<i>Ответы на вопросы, выводы</i>	
Растворение труднорастворимых солей <ul style="list-style-type: none"> Получите в пробирках осадки: <ol style="list-style-type: none"> 1) карбоната кальция; 2) оксалата кальция. <ul style="list-style-type: none"> Декантируйте растворы и к влажным осадкам прилейте раствор уксусной кислоты. Повторите опыт, заменив уксусную кислоту на соляную 	$\dots + \dots \rightarrow \dots$ $\dots + \dots \rightarrow \dots$ $\text{CaCO}_3 + \dots \rightarrow \dots$ $\text{CaC}_2\text{O}_4 + \dots \rightarrow \dots$ $\text{CaCO}_3 + \dots \rightarrow \dots$ $\text{CaC}_2\text{O}_4 + \dots \rightarrow \dots$	
<ul style="list-style-type: none"> Объясните полученные результаты 	<i>Ответы на вопросы, выводы</i>	

Таблица 1.2. Проведение синтеза

Название синтеза: «Дигидрат тетрахлороиодата(+3) калия» Дата 18.12.2020														
Уравнения реакций 1. Получение хлора. 2. Получение тетрахлороиодата(+3) калия (последовательные стадии): а) б) в)														
Реактивы <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">Реактив</th> <th style="width: 20%;">Кол-во, мл</th> <th style="width: 60%;">Агр. сост., цвет, растворимость, $T_{пл}$, $T_{кип}$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>KI</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>HCl (конц.)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>KMnO₄</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Реактив	Кол-во, мл	Агр. сост., цвет, растворимость, $T_{пл}$, $T_{кип}$	KI			HCl (конц.)			KMnO ₄		
Реактив	Кол-во, мл	Агр. сост., цвет, растворимость, $T_{пл}$, $T_{кип}$												
KI														
HCl (конц.)														
KMnO ₄														
Продукты реакции <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">Формула</th> <th style="width: 20%;">Кол-во (теор.)</th> <th style="width: 60%;">Агр. сост., цвет, растворимость, $T_{пл}$, $T_{кип}$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>KICl₄</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Формула	Кол-во (теор.)	Агр. сост., цвет, растворимость, $T_{пл}$, $T_{кип}$	KICl ₄								
Формула	Кол-во (теор.)	Агр. сост., цвет, растворимость, $T_{пл}$, $T_{кип}$												
KICl ₄														
Меры безопасности при выполнении работы 1. <div style="text-align: center; margin: 10px 0;">План работы</div> 1.														
Схема прибора <div style="text-align: center; margin: 10px 0;"> </div>		Рис. А. ... 1. ... 2. ... 3. ... 4. ... 5. ... 6. ... 7. ... 8. ...												
Расчеты, приготовление растворов и смесей реагентов Наблюдения, режимы синтеза, взвешивание Идентификация продуктов реакции Заключение, выводы Выход:														

2. ХИМИЧЕСКАЯ ПОСУДА, ОБОРУДОВАНИЕ И РЕАКТИВЫ

2.1. Химическая посуда

При выполнении опытов и синтезов в практикуме используют стеклянную и фарфоровую (керамическую) химическую посуду разного назначения.

Стеклянная химическая посуда

Для изготовления жаростойкой и химически устойчивой посуды используют специальное стекло с повышенным содержанием диоксида кремния (на изделия ставится специальное клеймо). Круглодонная посуда выдерживает прямой нагрев, тогда как плоскодонную посуду можно нагревать только через асбестовую сетку. Особо термостойкие изделия (стаканы, реторты, пробирки) изготавливают из закаленного (пирексового) или кварцевого стекла.

На рисунке 2.1 представлены основные изделия и оборудование из тонкого стекла, используемые в химической лаборатории.

Пробирки (1) используют для проведения качественных реакций. Их размещают в специальном штативе.

Стаканы стеклянные (2) используют для приготовления растворов и проведения химических реакций как при комнатной температуре, так и при нагревании.

Колбы плоскодонные (3) используют для приготовления и хранения растворов.

Колбы конические, или Эрленмейера, (4) используют для титрования, приготовления растворов, проведения химических реакций.

Колбы круглодонные с одной (5), двумя (6) или тремя горловинами (7) используют при проведении синтезов.

Колбы Вюрца (8–10) применяют в качестве перегонных (с изогнутым отводом, 8, 9) или реакционных (с прямым коротким отводом, 10) колб.

Пробирки Вюрца (11) используют для микроперегонки и в качестве реактора в микросинтезе.

Трубки соединительные (12) и тройники (13) служат для соединения резиновых трубок.

Бюксы, или стаканчики для взвешивания, (14) применяют для взвешивания агрессивных веществ и хранения небольших количеств реагентов.

Часовыми стеклами (15) накрывают химические стаканы при проведении синтезов, на них высыпают полученное при синтезе вещество для высушивания на воздухе, их используют в качестве тары при взвешивании небольших количеств веществ.

Воронки лабораторные (16) используют для наливания жидкостей.

Воронку для порошков (17) применяют для пересыпания сыпучих продуктов в колбу со шлифом.

Воронки со стеклянным фильтрующим дном, или воронки Шотта, (18) используют для фильтрования при пониженном давлении (под вакуумом). Ее для краткости называют стеклянным пористым фильтром или просто стеклянным фильтром.

Воронки для хлора (19) применяют в опытах по получению различных газов.

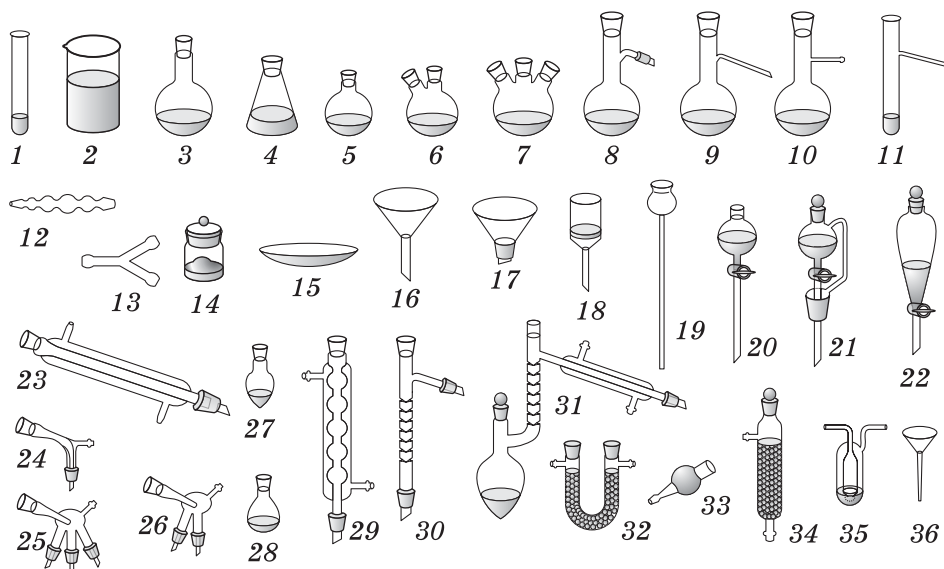


Рис. 2.1. Стеклянная химическая посуда:

1 — пробирка; 2 — стакан химический; 3 — колба плоскодонная; 4 — колба коническая (Эрленмейера); 5 — колба круглодонная с одной горловиной; 6 — колба круглодонная с двумя горловинами; 7 — колба круглодонная с тремя горловинами; 8–10 — колбы Вюрца; 11 — пробирка Вюрца; 12 — трубка соединительная; 13 — тройник; 14 — бюкс; 15 — часовое стекло; 16 — воронка лабораторная; 17 — воронка для порошков; 18 — воронка со стеклянным фильтрующим дном (воронка Шотта); 19 — воронка для хлора; 20–21 — воронки капельные; 22 — воронка делительная; 23 — холодильник Либиха; 24 — аллонж; 25–26 — «пауки»; 27–28 — приемники со шлифом; 29 — холодильник шариковый; 30 — дефлегматор; 31 — прибор для фракционной перегонки; 32 — U-образная трубка; 33 — хлоркальциевая трубка; 34 — колонка осушительная; 35 — промывалка Мюнке; 36 — воронка Мюнке

Воронки капельные (20, 21) используют для дозируемой (по каплям) подачи реагентов в реакционную смесь. Для выравнивания давлений в реакционной колбе и в капельной воронке (21) верхняя часть воронки соединяется трубкой с нижней частью. Воронку в этом случае обязательно закрывают сверху пробкой.

Воронки делительные (22) используют для разделения несмешивающихся жидкостей.

Холодильник Либиха (23) с прямой внутренней трубкой применяют в основном в качестве нисходящего холодильника.

Аллонж (24) — переход между холодильником и приемником (к аллонжу присоединяется хлоркальциевая трубка, при перегонке в вакууме — водоструйный насос).

«*Паук*» (25, 26) — аллонж с несколькими выходами для одновременного присоединения нескольких приемников.

Приемники со шлифом (27, 28) используются в качестве приемников при перегонке жидкостей. С этой целью используется также *колба круглодонная* (5).

Холодильник шариковый (29) используют в качестве обратного холодильника.

Дефлегматор (30) используют в качестве насадки при фракционной перегонке жидкостей.

Прибор для фракционной перегонки (31) объединяет в одно целое колбу Кляйзена, дефлегматор и холодильник.

U-образная трубка (32) и *колонка осушительная* (34) предназначены для осушения и очистки газов от примесей с помощью твердых реагентов.

Хлоркальциевая трубка (33) служит для изоляции реакционной смеси от воздействия атмосферной влаги и углекислого газа, трубку заполняют твердым поглотителем, как и осушительную колонку.

Промывалка Мюнке (35) — склянка для очистки газов жидким поглотителем с расширенной внутренней трубкой, предохраняющей от обратного перебрасывания содержимого промывалки при уменьшении давления входящего газа.

Воронка Мюнке (36) служит для заполнения промывалок.

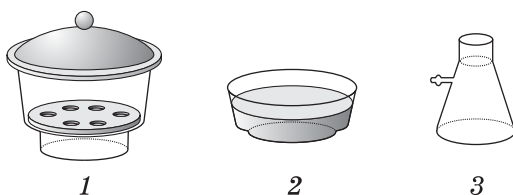


Рис. 2.2. Лабораторные посуда и оборудование из толстого стекла: 1 — эксикатор; 2 — кристаллизатор; 3 — колба Бунзена

Лабораторные посуда и оборудование из толстого стекла представлены на рисунке 2.2.

Эксикаторы (1) используют для высушивания веществ при комнатной температуре с помощью различных осушителей.

Кристаллизаторы (2) служат для сбора газов под водой.

Колбы Бунзена (3) используют в качестве приемных колб для фильтрата при фильтровании при пониженном давлении.

Из толстого стекла изготавливают также химические склянки, бутылки и т. д.

Фарфоровая (керамическая) посуда

Кроме стеклянной посуды в лаборатории используют керамические изделия благодаря их достаточно высокой механической прочности и низкой химической активности. Из керамики (в частности, фарфора) делают массивные кружки и стаканы, воронки Бюхнера, шпатели, ложечки, ступки, треугольники, чашки для выпаривания, тигли, лодочки (рис. 2.3).

Кружки (1) и *стаканы (2)* применяют для приготовления растворов кислот и щелочей, хромовой смеси, для хранения моющих средств.

Ступку с пестиком (3) используют для перетирания веществ.

Тигли (4) необходимы для нагрева веществ на открытом пламени горелки. Для установки тиглей на треножнике или в кольце штатива используют *треугольники (10)*.

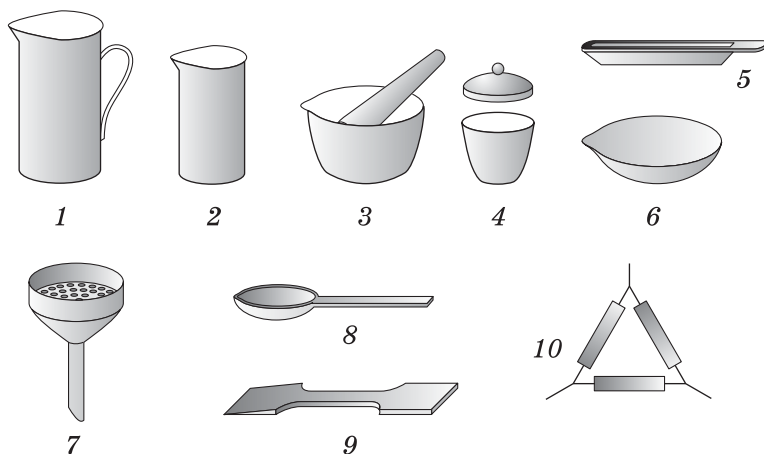


Рис. 2.3. Фарфоровая посуда:

1 — кружка; 2 — стакан; 3 — ступка с пестиком; 4 — тигель с крышкой; 5 — лодочка; 6 — чашка для выпаривания; 7 — воронка Бюхнера; 8 — ложка; 9 — шпатель; 10 — треугольник

Лодочки (5) используют при проведении синтезов в трубчатых реакторах.

Чашки для выпаривания (6) нужны для выпаривания на водяной (или песчаной) бане.

Воронку Бюхнера (7) с бумажным фильтром используют для фильтрования при пониженном давлении.

Ложечкой (8) или *шпателем (9)* берут реактивы.

Мерная посуда

Для измерения объема жидкости и приготовления растворов заданной концентрации используют мерную посуду различного назначения: мерные цилиндры, мерные пипетки, мерные колбы (рис. 2.4). Мерная посуда откалибрована при 20 °С. Уровень измеряемой жидкости определяют по нижнему мениску.

Мерные цилиндры (1) служат для измерения больших объемов жидкости. Точность измерения при этом не очень велика.

Бюретки со стеклянным краном (2) или *шариком (3)* позволяют выливать строго заданное количество жидкости с высокой точностью (0,01–0,1 мл) и используются при титровании.

Пипетки градуированные (4) служат для отбора точного объема небольшого количества жидкости (0,1–20,0 мл).

Пипетки мерные, или пипетки Мора, (5) с кольцевой меткой предназначены для отбора строго заданного объема жидкости.

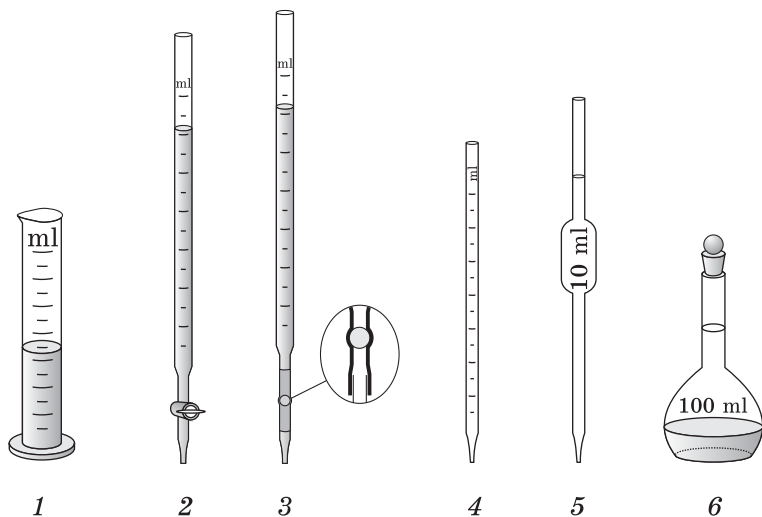


Рис. 2.4. Мерная посуда:

1 — мерный цилиндр; 2 — бюретка с краном; 3 — бюретка с шариком; 4 — пипетка градуированная; 5 — пипетка Мора; 6 — мерная колба

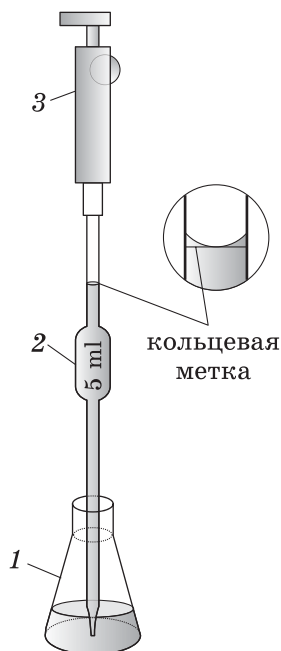


Рис. 2.5. Отбор пробы мерной пипеткой с пипетатором:
1 — колба с раствором; 2 — пипетка мерная; 3 — пипетатор

Колбы мерные (6) с кольцевой меткой используют для приготовления растворов точной концентрации.

Для заполнения пипеток используют пипетаторы (рис. 2.5).

Правила работы с химической посудой со шлифом

В лабораторной практике получила распространение стеклянная посуда с коническими или шаровыми соединениями (рис. 2.6). Внешний шлиф 2 называют *муфтой*, а внутренний 1 — *керном*.

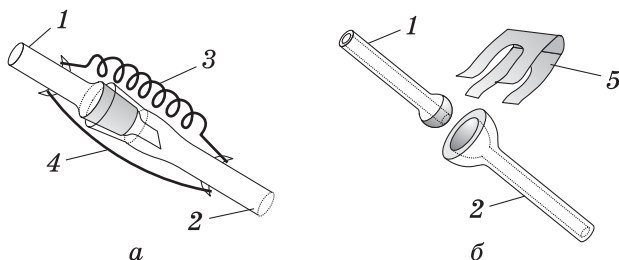


Рис. 2.6. Шлифованные соединения:

а — конический шлиф; б — шаровой шлиф.

1 — керн; 2 — муфта; 3 — пружина; 4 — резиновое кольцо; 5 — зажим

При проведении лабораторных работ обычно используют посуду с коническими шлифованными соединениями (рис. 2.6, а) стандарта 14,5; 19 и 29 мм. Для фиксации конических шлифов устанавливают пружинки 3 или резиновые колечки 4, которые крепят за припаянные к трубкам «усики».

Шаровые шлифованные соединения (рис. 2.6, б) позволяют изменять угол между фиксируемыми деталями без нарушения герметичности, они не боятся перекосов, выдерживают большие нагрузки и находят применение в приборах, работающих под вакуумом. Для скрепления шаровых соединений применяют специальные зажимы 5.

Смазывание шлифов. При сборке большинства приборов шлифы не рекомендуется смазывать, если в методике использование смазки не оговаривается специально. Смазка необходима, например, при сборке приборов, работающих под вакуумом.

Для смазывания шлифов используют специальную вакуумную смазку, которую деревянной палочкой наносят двумя-тремя тонкими мазками на шлифованную поверхность керна. Затем керн вставляют в муфту и поворачивают вокруг оси несколько раз. Правильно смазанный шлиф должен быть прозрачным, а вакуумная смазка — не выступать из зазора.

Смазывание кранов капельных воронок. Краны капельных воронок обычно смазывают вакуумной смазкой. При работе с бромом для смазывания крана используют концентрированную сиропообразную фосфорную кислоту или оксид фосфора(+5), расплывающийся на воздухе.

Очистка от вакуумной смазки. По окончании работы прибор разбирают, шлифованные соединения разъединяют и снимают загрязнения и смазку ватным тампоном, смоченным в тетрахлориде углерода (*в вытяжном шкафу и в перчатках!*). Нагретые шлифованные соединения разъединяют, не дожидаясь охлаждения, так как при охлаждении смазка густеет и схватывается.

При хранении посуды и оборудования со шлифами в собранном виде для предупреждения заклинивания между шлифами помещают полоски тонкой бумаги.

Мытье и высушивание посуды

Химическую посуду после завершения опыта тщательно моют, сушат и убирают на место.

Посуду ополаскивают водопроводной водой, а загрязнения удаляют ершиком или щеткой. Для удаления следов жира, масел и для улучшения смачиваемости стекла применяют соду. Остатки перманганата калия, оксида марганца(+4) хорошо удаляют

ся щавелевой кислотой. В особых случаях используют хромпик (раствор дихромата калия в концентрированной серной кислоте).

Для очистки от трудноудаляемых загрязнений посуду помещают в ультразвуковую ванну с соответствующим моющим средством.

! Абразивные материалы для очистки химической посуды использовать нельзя!

Чистую посуду сушат на воздухе в перевернутом виде на сушилке (рис. 2.7, б) или в сушильном шкафу. Для ускорения высушивания используют воздушные электросушилки (рис. 2.7, а).

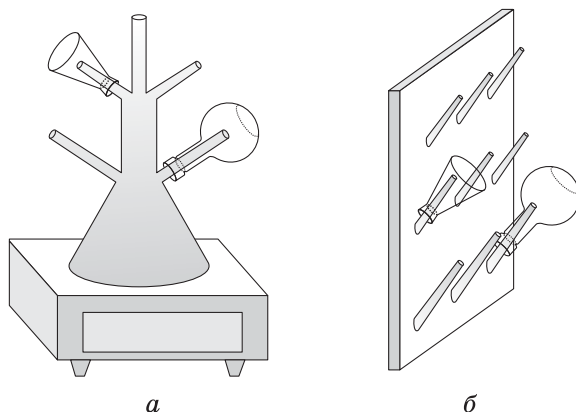


Рис. 2.7. Сушилки для химической посуды:

а — электросушилка для высушивания струей горячего воздуха; б — сушилка для высушивания на воздухе

Фильтры

Круглые бумажные фильтры разного диаметра изготавливают из фильтровальной бумаги различной плотности. Плотность бумаги можно определить по цвету упаковочной ленты. Принята следующая маркировка бумаги по ее плотности: розовая (или черная) лента — бумага малой плотности (для быстрого фильтрования); белая лента — бумага средней плотности; синяя лента — плотная бумага для отделения мелкозернистых осадков. Недостатком бумажных фильтров является низкая химическая стойкость к агрессивным реагентам.

Стеклянный пористый фильтр в виде пластины из прессованного (пористого) стекла устойчив к действию агрессивных реагентов и пригоден для фильтрования концентрированных кислот и разбавленных щелочей. Выпускают воронки (воронка Шотта)

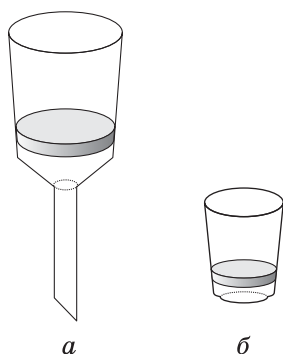


Рис. 2.8. Стекланные пористые фильтры: а — воронка Шотта; б — тигель Гуча

и тигли (тигель Гуча) (рис. 2.8) с вплавленными пластинами из пористого стекла с порами разной величины (табл. 2.1).

Таблица 2.1. Типы стекланных пористых фильтров

Размер пор, мкм	Назначение
100–120	Для работы с крупнокристаллическими осадками
40–50	Для работы с кристаллическими осадками
20–25	Для работы с мелкокристаллическими осадками (AgCl и др.)
4–10	Для работы с очень мелкокристаллическими осадками (BaSO ₄ , Cu ₂ O и др.)

Загрязненные фильтры очищают соответствующими растворителями и водой. Нельзя забивать фильтры диоксидом кремния и другими нерастворимыми в доступных растворителях осадками, а также промывать фильтры концентрированными растворами щелочей, под действием которых фильтрующие пластинки разрушаются. Стекланные фильтры не выносят и сильного механического воздействия.

2.2. Химические реактивы и правила работы с ними

Химические реактивы

Реактивы хранят в стекланных или пластмассовых банках с плотно закрывающимися крышками. Каждая банка снабжается этикеткой с названием вещества, его химической формулой и информацией о дате выпуска, сроке хранения, классе чистоты

реактива. На этикетке указывают также содержание основного вещества и примесей.

Существуют следующие градации чистоты реактивов по повышению степени очистки: «техн.» — технический; «ч.» — чистый; «ч. д. а.» — чистый для анализа; «х. ч.» — химически чистый и «о. с. ч.» — особо чистый.

Стоимость реактивов возрастает с их чистотой. При проведении большинства опытов и синтезов используют реактивы «ч.» и «ч. д. а.». Для технических целей, например приготовления охлаждающих смесей или мытья посуды, рекомендуется брать наиболее дешевые реагенты.

В практикуме твердые реактивы фасуют в маленькие склянки емкостью 100–150 мл (рис. 2.9, а) и размещают на полках рабочих столов.

Разбавленные растворы солей с концентрацией 3–5% разливают по склянкам емкостью 100–150 мл с пипетками для отбора жидкости (рис. 2.9, б) и также размещают на полках рабочих столов. Концентрации этих растворов в описании опытов практикума обычно не указываются. Так, если в задании сказано «налейте в пробирку 2–3 мл раствора...» без указания концентрации, это значит, что нужно взять с полки рабочего стола готовый раствор и налить его в пробирку.

Концентрированные и сильно пахнущие растворы кислот, оснований и других реагентов помещают в вытяжном шкафу в бутылках емкостью около 0,5 л.

Горючие и легко воспламеняющиеся жидкости, сильные окислители и другие особо опасные вещества хранят отдельно в металлических шкафах.

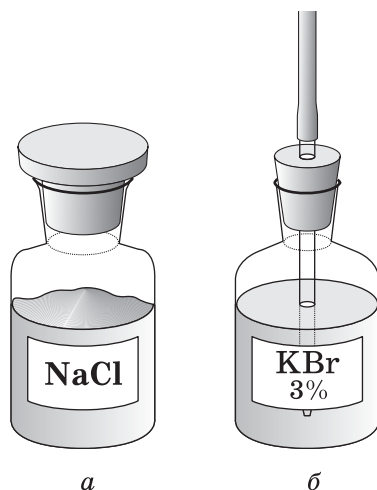


Рис. 2.9. Склянки с реактивами:
а — с твердыми реагентами; б — с разбавленными растворами

Правила работы с химическими реагентами

1. Твердые химические реактивы берут из банок специальными шпателями (фарфоровыми, металлическими, стеклянными, пластмассовыми), фарфоровыми ложечками или пинцетом.

2. Работу с твердыми щелочами (измельчение, заполнение осушительных колонок) выполняют только в защитных очках и перчатках. Такие же меры предосторожности соблюдают и при работе с фосфорным ангидридом.

3. Растирание веществ в ступках проводят только в вытяжном шкафу, во избежание попадания пылевидных реагентов в глаза и легкие. Совместное перетирание веществ позволяет получить достаточно тонкие смеси реагентов.

❗ Запрещается совместно перетирать окислители и восстановители во избежание взрыва!

В фарфоровых ступках измельчают сравнительно мягкие вещества. Для перетирания твердых веществ используют агатовые ступки. Крупные куски твердых и прочных веществ дробят в чугунных ступках.

4. Для загрузки твердых сыпучих веществ в реакционные колбы используют специальные воронки с широкой горловиной (рис. 2.10).

5. Жидкости наливают через химические воронки.

6. Неизрасходованные реактивы ни в коем случае не высыпают (не выливают) обратно в банки, а сдают лаборантам.

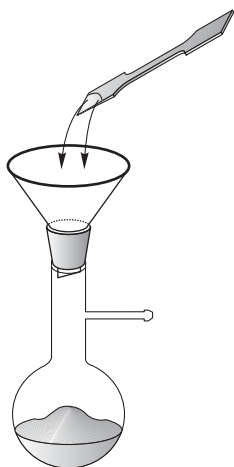


Рис. 2.10. Загрузка сыпучих веществ в колбу

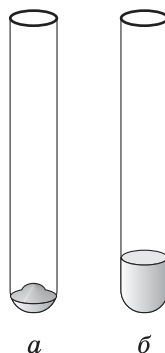


Рис. 2.11. Количества реагентов для проведения качественных реакций: а — твердое вещество; б — раствор

7. Все синтезированные препараты сдают преподавателю.

8. При проведении пробирочных опытов сухие вещества берут в очень небольшом количестве (рис. 2.11, а), а растворы — в объеме около 1–2 мл (рис. 2.11, б).

2.3. Газы

В практикуме используются следующие газы:

а) газы промышленного производства, поставляемые в стальных баллонах: азот, кислород, аргон, углекислый газ;

б) водород, получаемый электрохимическим путем с помощью генератора водорода;

в) газы, получаемые в лаборатории химическим путем: хлор, аммиак, водород, диоксид серы, оксиды азота и др. Использование промышленных баллонов с этими газами в студенческом практикуме не рекомендуется.

Газовые баллоны

! Работать с газовыми баллонами могут только сотрудники, имеющие соответствующую квалификацию. Студентам не разрешается перемещать и открывать газовые баллоны!

Газ в баллонах (рис. 2.12, а) находится под давлением до 15 ГПа (150 атм). Баллоны должны быть надежно закреплены и находиться на достаточном удалении от источников тепла.

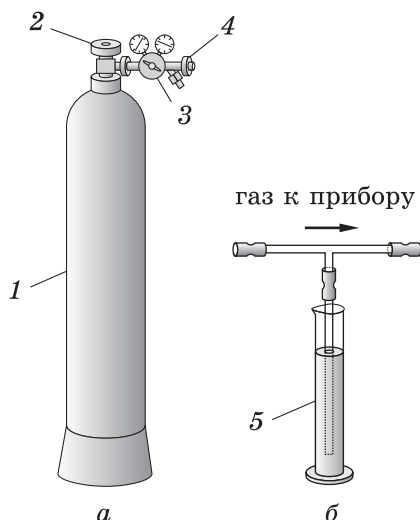


Рис. 2.12. Газовый баллон (а) и гидрозатвор (б) для подсоединения баллона к прибору:

1 — баллон; 2 — запорный вентиль баллона; 3 — редуктор; 4 — вентиль тонкой регулировки подачи газа; 5 — гидрозатвор

Для снижения давления газа на выходе из баллона устанавливают газовый редуктор 3 с вентилем тонкой регулировки подачи газа 4. На редукторе имеются два манометра: один показывает давление газа в баллоне, другой — на выходе из редуктора. В нерабочем состоянии вентили баллона и редуктора должны быть плотно закрыты, а стрелки манометров на редукторе показывать «0».

Для безопасного пропускания газа через прибор используют «кислородную» подушку, предварительно заполненную из баллона. Если баллон подсоединяют к прибору, между баллоном и прибором обязательно должен быть установлен гидрозатвор (рис. 2.12, б) для аварийного сброса избыточного газа.

Генератор водорода

Водород получают путем электролитического разложения очищенной воды (бидистиллята) в электролизере (рис. 2.13). Кислород сбрасывается в атмосферу, а водород проходит многоступенчатую очистку.

Для контроля давления водорода установлен цифровой датчик 2.

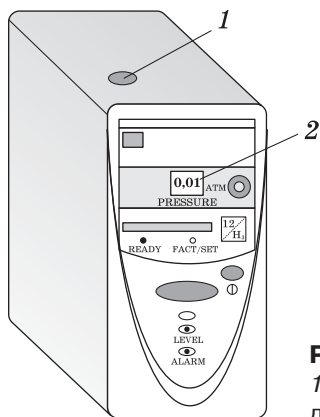


Рис. 2.13. Генератор водорода:
1 — заправочный люк для очищенной воды; 2 — дисплей датчика давления водорода

Химические способы получения газов

Наиболее распространенные способы получения газов в лаборатории приведены в таблице 2.2.

Для получения газов в лаборатории используют обычно два основных типа приборов (рис. 2.14). Газообразные вещества могут быть получены также при прокаливании твердых соединений.

Таблица 2.2. Способы получения газов в лаборатории

Газ	Источник газа	Примеси
Водород	$\text{H}_2\text{SO}_4(20\%-й \text{ p-p}) + \text{Zn}$	H_2O , SO_2 , H_2S
	$\text{HCl}(20\%-й \text{ p-p}) + \text{Zn}$	H_2O , HCl
Хлор	$\text{HCl}(\text{конц.}) + \text{KMnO}_4(\text{т})$	H_2O , HCl
	$\text{HCl}(\text{конц.}) + \text{MnO}_2 (t^\circ)$	H_2O , HCl
Хлороводород	$\text{H}_2\text{SO}_4(70\%-й \text{ p-p}) + \text{NaCl}(\text{т})$	H_2O
Бромоводород	$\text{Br}_2 + \text{P}(\text{кр.}) + \text{H}_2\text{O}(1-2 \text{ мл})$	H_2O , Br_2
Иодоводород	$\text{I}_2 + \text{P}(\text{кр.}) + \text{H}_2\text{O}(1-2 \text{ мл})$	H_2O , I_2
Сероводород	$\text{HCl}(20\%-й \text{ p-p}) + \text{FeS}$	H_2O , HCl
Аммиак	$\text{NH}_3(\text{конц.}) (t^\circ)$	H_2O
	$\text{NH}_3(\text{конц.}) + \text{NaOH}(\text{т})$	H_2O
	смесь $\text{Ca}(\text{OH})_2(\text{т}) + \text{NH}_4\text{Cl}(\text{т}) (t^\circ)$	H_2O
Оксид азота(+2)	$\text{HNO}_3(20-30\%-й \text{ p-p}) + \text{Cu}$	H_2O , NO_2
	$(\text{KI} + \text{KNO}_2 + \text{H}_2\text{O}) + \text{H}_2\text{SO}_4$	H_2O
Оксид азота(+4)	$\text{HNO}_3(\text{конц.}) + \text{Cu}$	H_2O , NO
	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2(\text{т}) + \text{SiO}_2 (t^\circ)$	H_2O , O_2
Оксид серы(+4)	$\text{H}_2\text{SO}_4(\text{конц.}) + \text{Na}_2\text{SO}_3(\text{безв.})$	H_2O
	$\text{H}_2\text{SO}_4(\text{конц.}) + \text{Cu} (t^\circ)$	H_2O
Оксид углерода(+2)	$\text{H}_2\text{SO}_4(\text{конц.}) + \text{HCOOH}$	H_2O
	$\text{H}_2\text{SO}_4(\text{конц.}) + \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$	H_2O , CO_2
Оксид углерода(+4)	$\text{CaCO}_3 + \text{HCl}(20\%-й \text{ p-p})$	H_2O , HCl

Получение газов в колбе Вюрца с длинной воронкой. Водород, сероводород, углекислый газ и др. могут быть получены с использованием колбы Вюрца с длинной воронкой (рис. 2.14, а). Скорость генерации газа регулируется концентрацией и скоростью подачи жидкого реагента, добавляемого небольшими порциями в колбу 1 через воронку 2.

Получение газов в колбе Вюрца с капельной воронкой. Такой прибор (рис. 2.14, б) используют для получения хлора (действием соляной кислоты на перманганат калия), оксидов азота, оксида углерода(+2), аммиака и др. Соединительная трубка 5 служит для выравнивания давления в колбе и капельной воронке. Капельная воронка позволяет регулировать скорость подачи жидкого реагента в колбу Вюрца, поддерживая тем самым непрерывный и ровный ток газа.

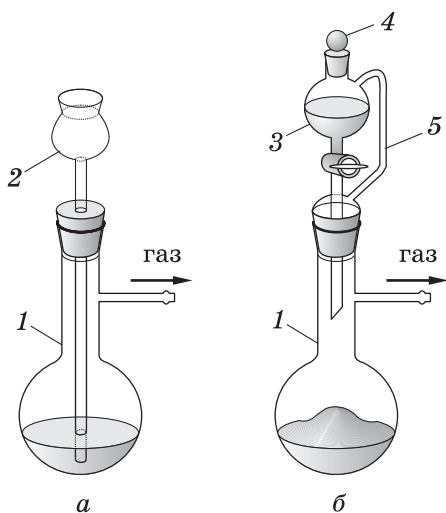


Рис. 2.14. Приборы для получения газов в колбе Вюрца:

а — с длинной воронкой; *б* — с капельной воронкой на шлифах.

1 — колба; 2 — длинная воронка; 3 — капельная воронка; 4 — пробка; 5 — трубка для выравнивания давления

Меры предосторожности при работе с газами

1. При опасности закупоривания выхода газа продуктами реакции в качестве меры предосторожности для аварийного сброса избытка газа ставят гидравлический затвор (рис. 2.15, *а*)

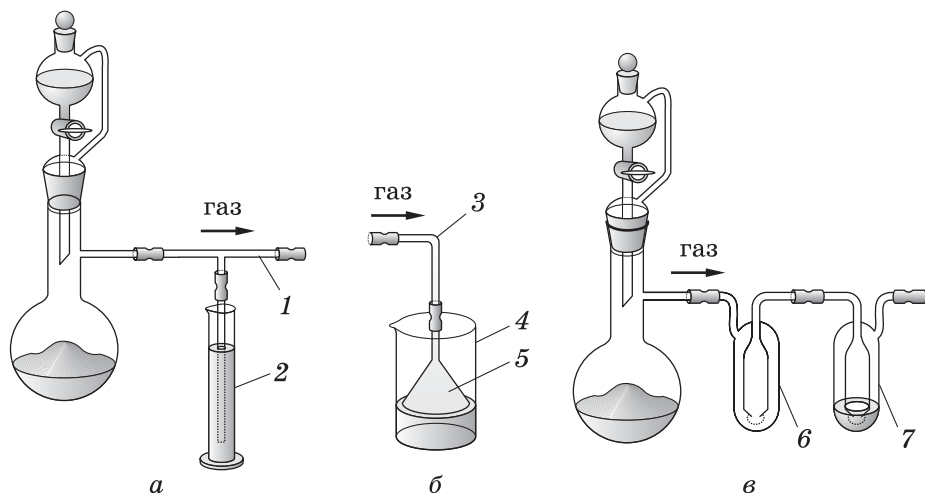


Рис. 2.15. Меры предосторожности при работе с газами:

а — установка гидравлического затвора; *б* — пропускание газа через жидкость с использованием воронки; *в* — установка предохранительной промывалки.

1 — тройник; 2 — цилиндр с водой; 3 — изогнутая стеклянная трубка; 4 — стакан; 5 — воронка; 6 — предохранительная (обратная) промывалка; 7 — промывалка с жидкостью

в виде длинной стеклянной трубки 1, погруженной в цилиндр 2 с водой.

2. При пропускании газа через жидкость к выходу изогнутой стеклянной трубки 3 присоединяют перевернутую химическую воронку 5 (рис. 2.15, б). Такая конструкция предотвращает вероятность закупоривания трубки и предохраняет от обратного затягивания жидкости при уменьшении давления в приборе.

3. Между колбой Вюрца и промывалкой 7 ставят обратным ходом пустую промывалку 6 (рис. 2.15, в), предохраняющую от затягивания содержимого промывалки 7 в колбу при уменьшении давления газа.

Очистка газов

Полученные химическим путем газы могут содержать пары воды, летучие компоненты реагирующих веществ, продукты побочных реакций и аэрозольные загрязнения. Газы из баллонов также могут содержать примеси.

Реагенты и поглотители для очистки газов. Для очистки газов от примесей в практикуме рекомендуется использовать реагенты и поглотители, приведенные в таблице 2.3. При выборе реагента или поглотителя необходимо учитывать его активность по отношению к очищаемому газу.

Для осушения газов предлагается несколько реагентов, различающихся способностью к поглощению паров воды, их характеристики приведены в таблице П.6 (см. Приложение).

Для очистки газов в лабораторной практике используют промывалки, U-образные трубки и осушительные колонки, заполненные соответствующими реагентами или поглотителями.

Очистка газов жидкими реагентами и поглотителями с использованием промывалки Мюнке (рис. 2.16). Промывалка Мюнке состоит из корпуса 1, внутрь которого впаяна трубка 2 с расширением. В нижней части трубки имеются маленькие отверстия 3 для пропускания газа через жидкость. Промывалку заполняют жидкостью примерно на 5 мм выше выходных отверстий с помощью тонкой воронки Мюнке (рис. 2.16, б). Такое количество жидкости обеспечивает достаточную эффективность очистки, не создает излишнего гидравлического сопротивления току газа, а при изменении направления тока газа содержимое промывалки не будет переброшено обратно. Для хранения заполненных жидкостями промывалок отводы замыкают коротким отрезком резиновой трубки.

Очистка газа твердыми реагентами (поглотителями) с использованием колонок и U-образных трубок (рис. 2.17). Заполне-

Таблица 2.3. Рекомендуемые реагенты и поглотители для очистки газов от примесей

Примесь	Реагент или поглотитель
Пары воды	Безводный хлорид кальция
	Серная кислота (конц.)
	Оксид фосфора(+5)
	Силикагель, цеолиты
	Гранулированные гидроксиды калия или натрия
Кислород	Медная стружка при нагревании
	Щелочной раствор пирогаллола
Хлороводород	Вода
Пары брома и иода	Фосфор красный
	Раствор гидроксида натрия
Оксид азота(+2)	Азотная кислота (конц.)
Оксид азота(+4)	Раствор гидроксида натрия
Оксид углерода(+4)	Раствор гидроксида натрия
Оксид серы(+4), сероводород	Раствор гидроксида натрия
	Подкисленный насыщенный раствор перманганата калия

ние колонок гранулированными веществами (хлоридом кальция, твердыми гидроксидами натрия или калия, силикагелем, цеолитами и др.) проводят следующим образом: на дно колонки укладывают слой стеклянной или каолиновой ваты, затем примерно на $\frac{3}{4}$ высоты колонки — слой реагента, а затем опять слой стекловаты (рис. 2.17, а). Сверху колонку закрывают пробкой. Аналогично заполняют U-образные трубки (рис. 2.17, в). Для хранения, даже кратковременного, отводы колонок и U-образных трубок замыкают коротким отрезком резиновой трубки.

! Все операции со щелочами и оксидом фосфора(+5) проводят только в вытяжном шкафу в защитных очках и перчатках!

Оксид фосфора(+5) помещают в колонку на носителе — стеклянной вате. Для этого в большую фарфоровую чашку кладут необходимое количество стекловаты, добавляют порошок оксида фосфора(+5) и быстро перемешивают. Затем стекловату с оксидом фосфора(+5) с помощью пинцета вносят в колонку или U-образную трубку (рис. 2.17, б, г).

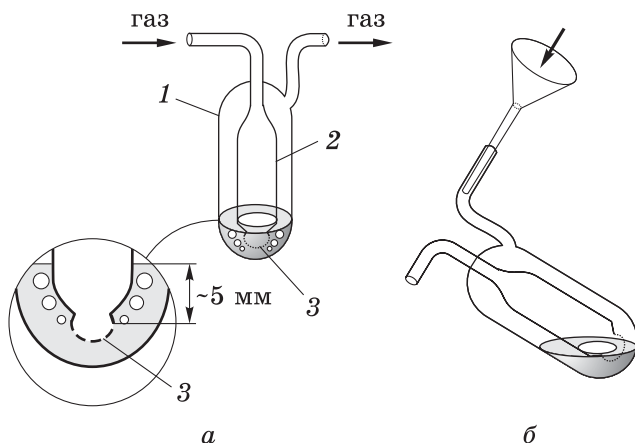


Рис. 2.16. Промывалка Мюнке:

а — в действии; *б* — при заполнении.

1 — корпус промывалки; 2 — внутренняя трубка с расширением; 3 — отверстия

Хлоркальцевые трубки (рис. 2.18) используют для защиты реакционной смеси от влаги воздуха, а иногда и от углекислого газа. Несмотря на название, ее заполняют не только хлоридом кальция, но и натронной известью, оксидом фосфора(+5) и другими твердыми реагентами-поглотителями. Хлоркальцевую трубку

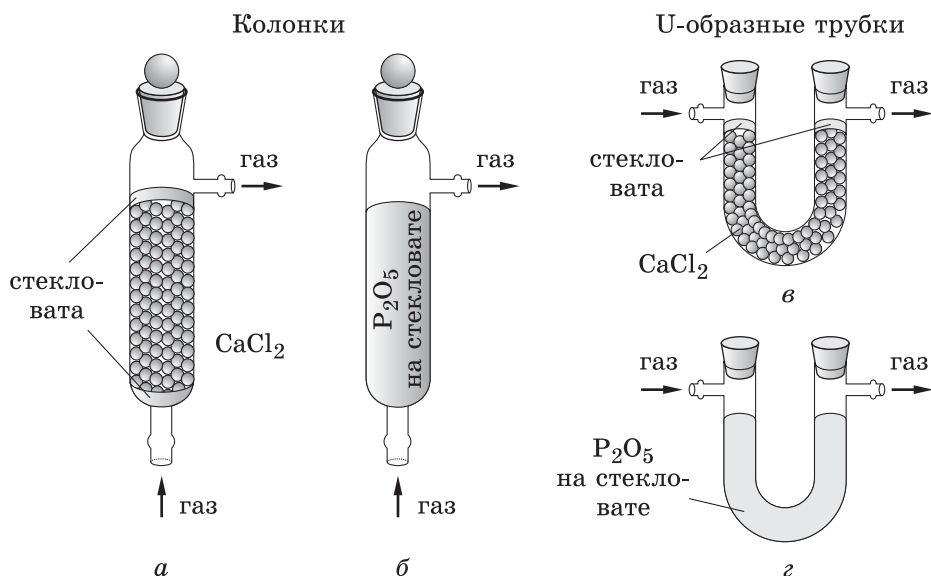


Рис. 2.17. Колонки (*а*, *б*) и U-образные трубки (*в*, *г*)

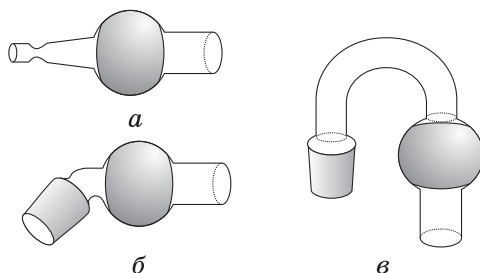


Рис. 2.18. Хлоркальциевые трубки:
а — с оливкой; б, в — со шлифом

устанавливают с наклоном, чтобы ее содержимое не могло случайно попасть в реакционную смесь.

2.4. Лабораторное оборудование

Газовые горелки

! Газовые горелки нельзя использовать для нагревания легковоспламеняющихся и горючих жидкостей! Не допускается оставлять включенные газовые горелки без присмотра.

При проведении многих опытов и синтезов используют газовые горелки Теклю, Бунзена и паяльные горелки (рис. 2.19, а–в). Для получения широкого и тонкого пламени, необходимого для обогрева стеклянных или кварцевых трубок, устанавливают щелевидную насадку «ласточкин хвост» (рис. 2.19, г).

Правильно отрегулированная горелка дает прозрачное, слегка голубоватое, несветящееся пламя. При недостатке воздуха пламя становится желтым и коптящим. На рисунке 2.19 (д) схематически приведено распределение температуры внутри несветящегося пламени. Различают две основные зоны горения: низкотемпературную зону 9, начинающуюся от устья горелки, и высокотемпературную зону 10. Для лучшего обогрева нагреваемые объекты должны быть помещены в верхнюю высокотемпературную часть пламени.

! Несветящееся пламя практически незаметно при солнечном освещении, что требует соблюдения особой осторожности при пользовании газовыми горелками в дневное время!

Горелка Теклю. Газ поступает через боковой отвод 1 в конусообразную трубку 4, где смешивается с воздухом. Подача газа

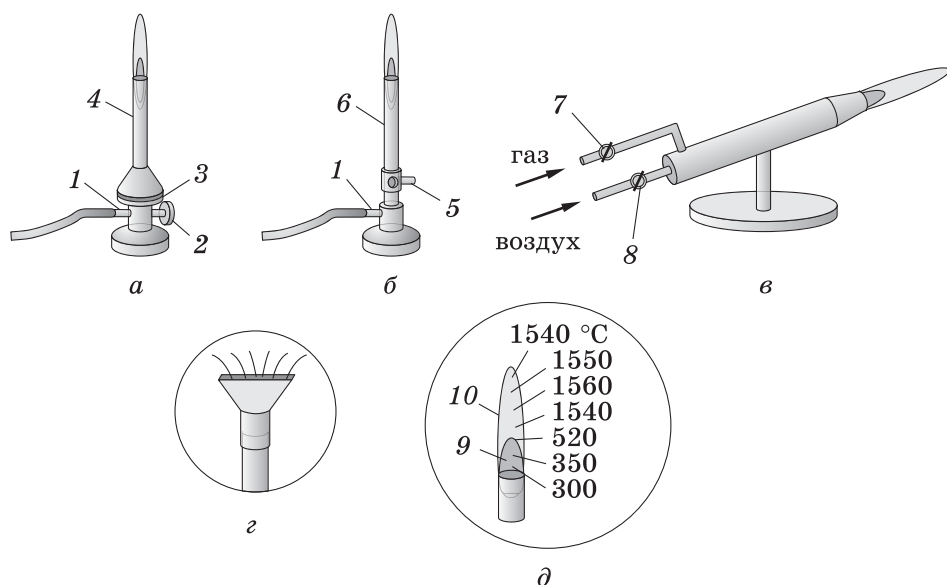


Рис. 2.19. Газовые горелки:

а — горелка Теклю; б — горелка Бунзена; в — паяльная горелка; г — горелка с насадкой «ласточкин хвост»; д — строение пламени горелки.

1 — боковой отвод; 2 — вентиль; 3 — диск; 4 — конусообразная трубка; 5 — вращающаяся муфта; 6 — рожок; 7 — кран подачи газа; 8 — кран подачи воздуха; 9 — низкотемпературная зона; 10 — высокотемпературная зона

регулируется вентилем 2, а воздуха — путем изменения зазора между верхней трубкой 4 и диском 3 при его вращении по винтовой нарезке.

Чтобы зажечь горелку Теклю, убедитесь вначале, что регулировочный вентиль подачи газа 2 закрыт. Затем откройте кран на стойке. Зажгите спичку, поднесите ее сбоку к устью горелки, откройте вентиль подачи газа 2 (*не наклоняйтесь над горелкой!*) и зажгите газ, затем отрегулируйте подачу газа и воздуха. Для выключения горелки вначале закройте вентиль 2, а затем газовый кран на стойке.

Горелка Бунзена. В эту горелку воздух поступает через боковое отверстие в нижней части рожка 6. Размер отверстия можно изменять с помощью вращающейся муфты 5, что позволяет регулировать пламя горелки. Для обогрева стеклянной химической посуды используют широкое несветящееся пламя, для точечного нагрева при прокаливании — острое и горячее.

! Нельзя использовать режим острого пламени для обогрева химической посуды — стекло может не выдержать точечного нагрева!

Чтобы зажечь горелку Бунзена, перекройте подачу воздуха в горелку поворотом муфты 5, поднесите к краю отверстия горелки зажженную спичку (*не наклоняйтесь над горелкой!*), приоткройте газовый кран на стойке и зажгите газ, а затем отрегулируйте пламя горелки. Для выключения горелки закройте газовый кран на стойке.

При использовании неисправных горелок, несоблюдении правил зажигания пламени или выключения горелок, а также при снижении подачи газа возможен проскок пламени в горелку. В этом случае горение газа происходит внутри трубки горелки, и горелка сильно разогревается. При проскоке пламени необходимо немедленно закрыть газовый кран и сообщить сотрудникам практикума или преподавателю.

! Студентам не разрешается самостоятельно устранять неисправности газовых приборов!

Паяльная горелка используется для проведения стеклодувных работ, а также для прокаливания веществ в железных тиглях. Особая осторожность необходима при зажигании паяльной горелки.

Перед тем как зажечь горелку, убедитесь, что краны подачи газа 7 и воздуха 8 на горелке закрыты (рис. 2.19, в). Затем откройте краны на стойке, зажгите спичку, поднесите ее снизу к устью горелки, осторожно приоткройте газовый кран 7 и подожгите газ, не наклоняясь над горелкой. Пламя горелки отрегулируйте с помощью кранов подачи газа 7 и воздуха 8. Для выключения горелки вначале перекройте подачу воздуха краном 8, а затем газа краном 7 (*не наоборот!*) и закройте краны на стойке.

Колбонагреватели

Для нагревания жидкостей в круглодонных колбах используют колбонагреватели (рис. 2.20). Удобны в работе малоинерционные колбонагреватели с трубчатыми электронагревательными элементами и электронной системой регулирования температуры. Колбу устанавливают над нагревательным элементом на расстоянии 5–10 мм.

! При работе с легковоспламеняющимися жидкостями (ЛВЖ) необходимо соблюдать особую осторожность: попадание ЛВЖ на нагревательный элемент может привести к воспламенению!

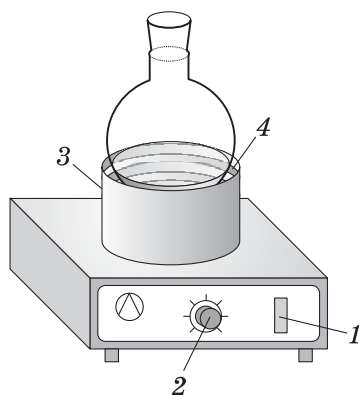


Рис. 2.20. Колбонагреватель:
1 — выключатель; 2 — регулятор температуры; 3 — нагревательная ячейка; 4 — нагревательный элемент

Бани водяные и песчаные

Для нагревания реакционных сосудов и выпаривания растворов используют водяные и песчаные бани.

Водяная баня (рис. 2.21, а) представляет собой металлический сосуд, заполненный на $\frac{2}{3}$ водой и закрытый рядом колец разного диаметра, который нагревают на электрической плитке или пламенем газовой горелки. При нагревании на газовой горелке водяную баню ставят на треножник, установленный на подставке из термостойкого материала 3. Сверху помещают чашку для выпаривания 1, сняв такое количество колец, чтобы чашка была утоплена примерно на $\frac{2}{3}$. Воду в бане поддерживают в состоянии слабого кипения в течение всего опыта. Уровень воды

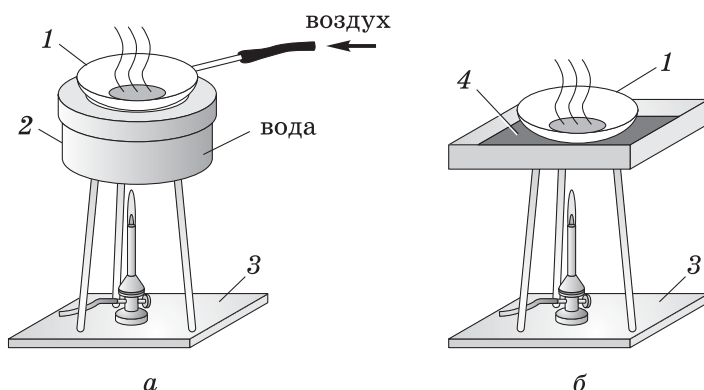


Рис. 2.21. Выпаривание раствора на водяной и песчаной банях:
а — баня водяная с газовым подогревом; б — баня песчаная с газовым подогревом.
1 — чашка для выпаривания; 2 — баня водяная; 3 — подставка из термостойкого материала; 4 — лоток с песком

в бане не должен изменяться, необходимо постоянно добавлять воду по мере выкипания.

Песчаную баню (рис. 2.21, б) применяют для нагревания веществ до 200–300 °С и выпаривания растворов. Она представляет собой металлический лоток 5, заполненный чистым прокаленным песком. Песок нагревают на электрической плитке с регулятором температуры или пламенем газовой горелки. Температуру песка измеряют цифровым термометром с длинным щупом.

! Для измерения температуры нагреваемого песка использование ртутных термометров не допускается!

Электрические печи, сушильные шкафы

Для нагревания или прокаливания веществ при высокой температуре используют электрические печи: трубчатые, тигельные (шахтные) и муфельные.

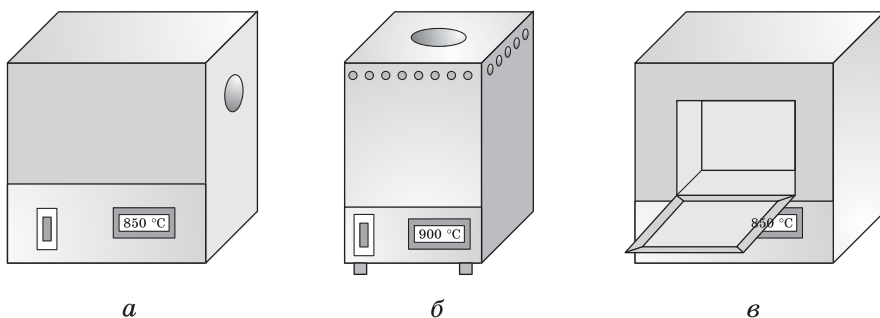


Рис. 2.22. Печи электрические:
а — трубчатая печь; б — шахтная печь; в — муфельная печь

Трубчатые печи (рис. 2.22, а) применяют для проведения реакций в токе газов. Вещества в фарфоровой, кварцевой или металлической лодочке вносят в кварцевую или керамическую трубку, помещенную в трубчатую электрическую печь.

Для прокаливания небольшого количества вещества в тиглях удобны *тигельные (шахтные) печи* (рис. 2.22, б).

Большие количества веществ прокаливают в *муфельной печи* (рис. 2.22, в).

Сушильные шкафы (рис. 2.23) используют для высушивания посуды и химических веществ.

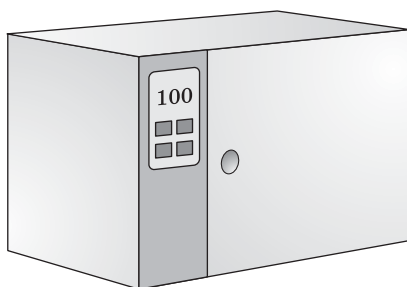


Рис. 2.23. Шкаф сушильный

Весы и правила взвешивания

Химический эксперимент начинают с подготовки исходных реагентов (взвешивания, смешивания веществ, приготовления растворов), подготовки посуды и сборки прибора (если необходимо) и завершают выделением и идентификацией полученных веществ.

В студенческом практикуме используются электронные весы (рис. 2.24) с точностью взвешивания 0,1–0,01 г, достаточной для проведения большинства опытов и синтезов. Для более точных взвешиваний, например при проведении химического анализа, используют аналитические весы с точностью взвешивания $\pm 0,2$ мг.

Взвешивание неагрессивных веществ. Взвешивание на весах (рис. 2.25) всегда проводят с использованием тары (стаканов, бюксов, часовых стекол). Для взвешивания неагрессивных веществ можно использовать кальку. Другая бумага, особенно фильтровальная, в качестве тары при взвешивании непригодна.

На чашку весов поместите тару для взвешивания и обнулите показания весов (клавиша «Тара»), затем снимите тару с чашки весов, поместите на лист чистой бумаги, насыпьте приблизительное количество взвешиваемого вещества (рис. 2.25, б) и вновь по-

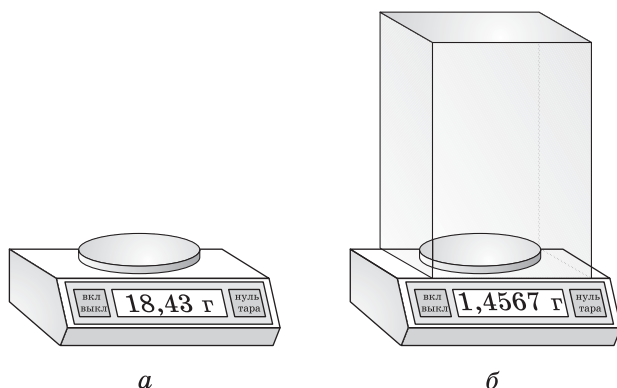


Рис. 2.24. Весы в практикуме:

а — весы электронные для взвешивания реагентов; б — весы аналитические

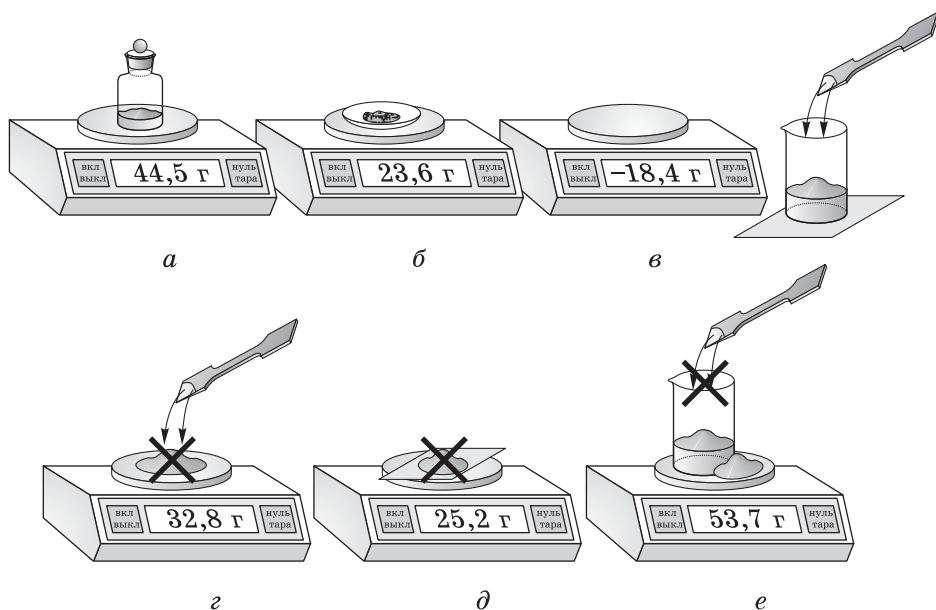


Рис. 2.25. Взвешивание химических веществ:
а–в — правильное; г–е — неправильное

ставьте на весы. Если масса вещества не соответствует заданной, добавьте (или уберите) необходимое количество вещества, сняв тару с веществом с весов.

! Избегайте попадания взвешиваемых веществ на весы! Не допускайте взвешивания нагретых или горячих предметов!

Взвешивание агрессивных веществ. Агрессивные вещества взвешивают только в закрытой посуде. Ампулы, пробирки и приемники с веществами во избежание падения помещают в стеклянный стакан (рис. 2.26).

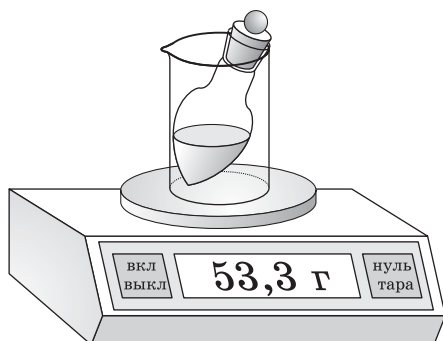


Рис. 2.26. Взвешивание веществ в неустойчивой посуде

Магнитные мешалки

Для перемешивания реакционной смеси используют магнитные мешалки различных типов и размеров (рис. 2.27).

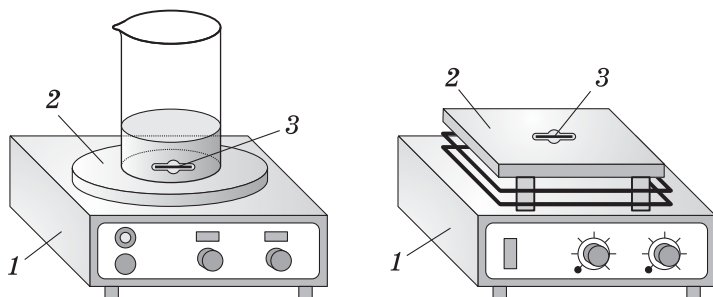


Рис. 2.27. Магнитные мешалки:

1 — корпус; 2 — нагревательный элемент; 3 — перемешивающий стержень

Наибольшее распространение в практикуме получили мешалки с нагреваемой платформой, предназначенные для одновременного перемешивания и нагревания химических реагентов. Перемешивание осуществляется с помощью магнитного стержня во фторопластовой оболочке, вращающегося под воздействием магнитного поля. Стержни во фторопластовой оболочке могут работать и в горячих агрессивных средах.

Термометры ртутные и цифровые

Для измерения температуры используют ртутные и цифровые термометры (рис. 2.28).

Ртутные термометры применяют в основном для определения температуры жидкости. В зависимости от назначения термометры выпускаются с разной шкалой и разных размеров, как со шлифом, так и без шлифа. Ртутными термометрами обычно измеряют температуры до 250 °С.

К существенным недостаткам ртутных термометров следует отнести их хрупкость, а также возможность взрыва при перегреве. Для измерения более высоких температур используют цифровые термометры.

pH-метры

Для точного измерения pH исследуемых растворов используют pH-метры. Определение pH растворов основано на измерении ЭДС ячейки (рис. 2.29), составленной из измерительного электрода I

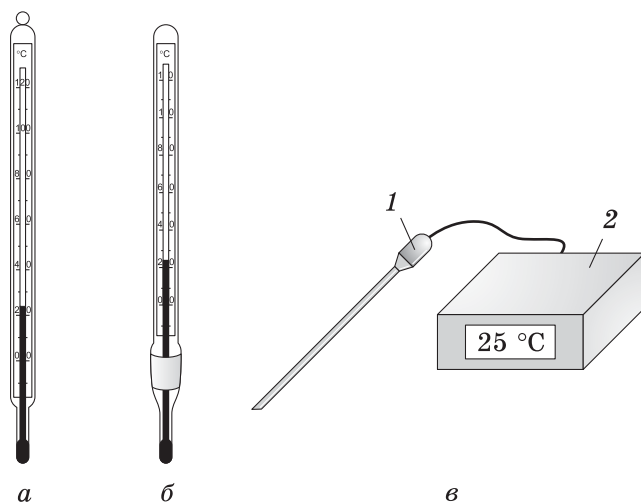


Рис. 2.28. Термометры:

а — ртутный термометр; *б* — ртутный термометр со шлифом; *в* — цифровой термометр.

1 — термодатчик; *2* — измерительный блок

и электрода сравнения II. В качестве измерительного электрода используют электрод из специального тонкого стекла, заполненный раствором кислоты. ЭДС ячейки возникает вследствие разности активностей ионов водорода в стеклянном измерительном электроде I и в испытуемом растворе. Электрод сравнения II состоит из хлорсеребряного электрода 3, находящегося в растворе хлорида калия 4. Раствор хлорида калия сообщается с испытуемым раствором через капилляр 5.

В современных pH-метрах измерительный электрод и электрод сравнения объединяют в один комбинированный электрод.

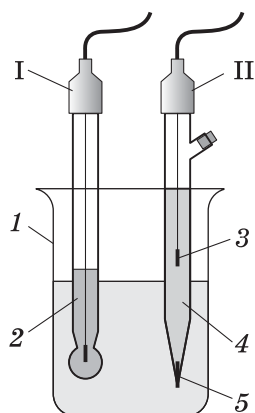


Рис. 2.29. Измерительная ячейка pH-метра:

I — измерительный стеклянный электрод; II — электрод сравнения (стандартный электрод).

1 — стаканчик с анализируемым раствором; *2* — стандартный раствор кислоты; *3* — хлорсеребряный электрод; *4* — раствор хлорида калия; *5* — капилляр

Источники постоянного электрического тока

! Включение прибора в сеть без заземления не допускается! Не разрешается прикасаться к электрическим клеммам включенного в сеть прибора!

Для проведения электролиза и электрохимического синтеза используются источники постоянного стабилизированного тока (рис. 2.30), позволяющие поддерживать заданное значение напряжения в интервале 0–10 В или силы тока 0–5 А в течение всего времени проведения эксперимента. Наличие ограничителей по напряжению и току делает прибор безопасным в работе и предохраняет от короткого замыкания.

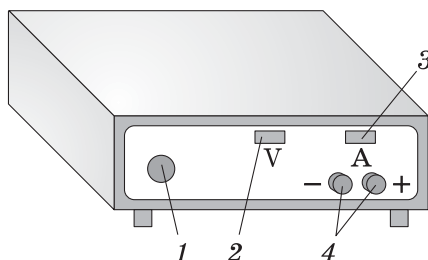


Рис. 2.30. Источник постоянного тока:

1 — выключатель; 2 — регулятор напряжения; 3 — регулятор силы тока; 4 — клеммы

Переход в режим стабилизации тока происходит автоматически при включении нагрузки.

3. ПРОВЕДЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

3.1. Работа со стеклом

! Резку и сгибание трубок, изготовление капилляров и другую подобную работу со стеклом необходимо проводить в защитных очках!

При проведении химического эксперимента зачастую требуются стеклянные трубки и стеклянные палочки различной конфигурации, которые легко изготовить самостоятельно.

Резка стеклянных трубок и палочек. Чтобы отрезать часть трубки нужной длины, сначала в выбранном месте делают надрез напильником. Затем заворачивают трубку в ткань и ломают в месте надреза, слегка сгибая трубку концами к себе. Таким способом можно разрезать трубки диаметром до 10–12 мм.

Так же разрезают стеклянные палочки.

Оплавление кромок стекла. Острые кромки стекла во избежание порезов обязательно оплавливают. Для этого конец трубки (палочки) осторожно вносят в верхнюю часть пламени паяльной горелки и прогревают, вращая трубку вокруг оси до оплавления стекла.

Сгибание стеклянных трубок (рис. 3.1, а). Стеклянную трубку 3 прогревают в пламени газовой горелки 1 с насадкой 2

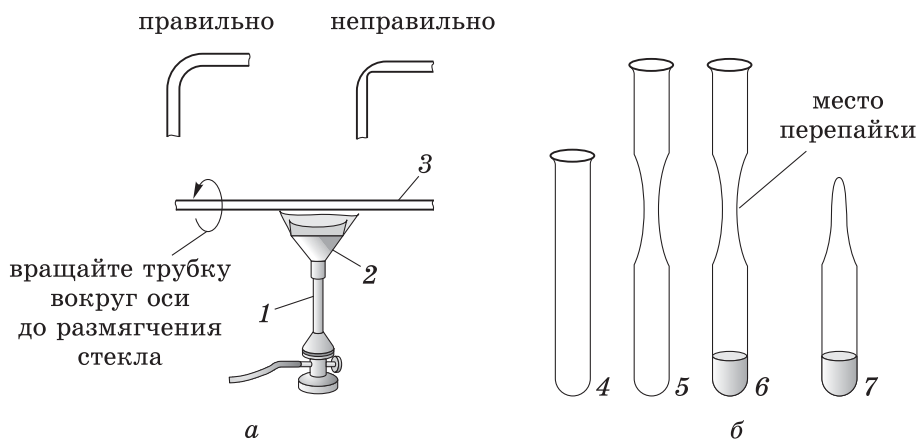


Рис. 3.1. Работа со стеклом:

а — сгибание стеклянных трубок; б — изготовление и запайка оттянутых пробирок.

1 — горелка; 2 — насадка «ласточкин хвост»; 3 — стеклянная трубка; 4 — исходная пробирка; 5 — оттянутая пробирка; 6 — оттянутая пробирка с веществом; 7 — запаянная пробирка (ампула)

«ласточкин хвост» 2 на участке длиной 5–6 см в месте сгиба, непрерывно вращая ее вокруг своей оси. Когда пламя окрасится в желтый цвет и стекло размягчится, трубку вынимают из пламени и сгибают до нужного угла плавным и быстрым движением. Правильно согнутая трубка не должна иметь складок и сужений.

Оттягивание капиллярных трубок. Стекланную трубку прогревают, вращая ее в пламени паяльной горелки или газовой горелки с насадкой «ласточкин хвост» до размягчения стекла, вынимают из пламени и осторожно растягивают. Когда трубка остынет, на растянутом участке делают надрез напильником и отламывают ненужный конец. Острые кромки оплавливают.

Изготовление капилляров. Стекланную трубку разогревают в пламени паяльной горелки и сильно растягивают вне пламени. Капилляр режут напильником на части и запаивают с одной стороны. Капилляр можно вначале разрезать на части в два раза больше необходимой длины, а затем переплавить на газовой горелке посередине и получить сразу два запаянных с одной стороны капилляра.

Изготовление оттянутых пробирок и запаивание веществ в ампулу (рис. 3.1, б). Среднюю часть пробирки разогревают при вращении в пламени паяльной горелки до размягчения стекла и осторожно растягивают вне пламени горелки до нужной длины. Вещество помещают в нижнюю часть пробирки и осторожно переплавляют перетяжку в пламени горелки. При перепайке перетяжки принимают меры, чтобы в ампуле не создавалось избыточное давление вследствие термического расширения воздуха при нагревании. Для этого вначале прогревают часть пробирки выше вещества в пламени горелки, а затем смещают пламя в среднюю часть перетяжки. Запаянный конец ампулы оплавливают.

Подбор и сверление пробок

При использовании химической посуды и трубок «под пробку» необходимо подобрать резиновые пробки и просверлить в них отверстия. Пробку подбирают так, чтобы она более чем наполовину входила в отверстие. Пробки лучше всего сверлить на электрическом сверлильном станке острым резцом. Отверстие в пробке можно просверлить и вручную с использованием специального набора кольцевых сверл. В этом случае конец кольцевого сверла смазывают глицерином. Для сверления отверстия в резиновой пробке диаметр сверла должен соответствовать диаметру вставляемой трубки или быть немного меньше в зависимости от жесткости резины.

3.2. Приготовление растворов

При приготовлении большинства растворов, за исключением растворов точной концентрации, навеску вещества растворяют при перемешивании стеклянной палочкой в рассчитанном количестве жидкости, налитой в химический стакан. Для измерения объема жидкости используют мерные цилиндры. С целью ускорить растворение стакан с раствором можно подогреть на электрической плитке или на горелке через сетку.

Приготовление растворов точной концентрации. Для приготовления растворов точной концентрации используют мерные колбы с кольцевой меткой (рис. 3.2). Мерную колбу 1 заполняют примерно наполовину дистиллированной водой и через воронку 2 насыпают точную ($\pm 0,2$ мг) навеску вещества из стакана для взвешивания 3. Остатки вещества тщательно смывают водой с помощью промывалки 4. Содержимое колбы перемешивают круговыми движениями до полного растворения всего вещества.

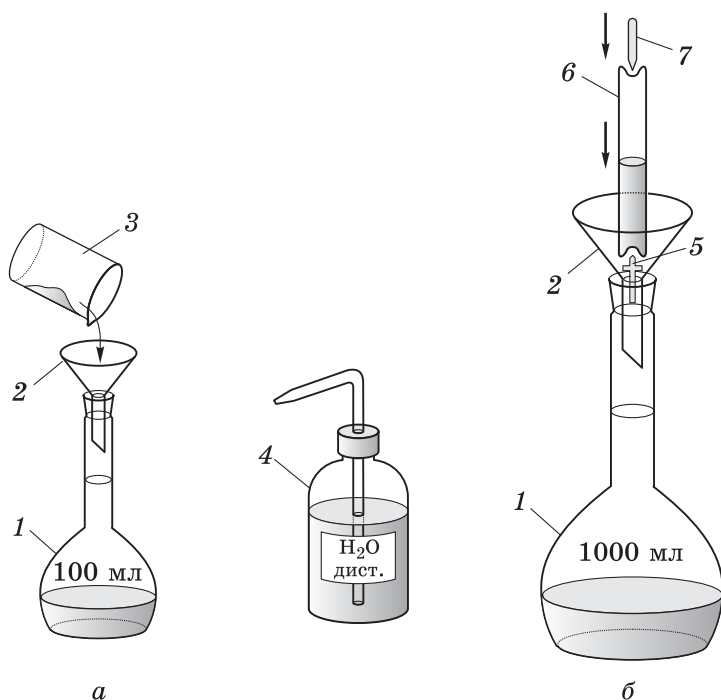


Рис. 3.2. Приготовление растворов точной концентрации:

а — по точной навеске вещества; б — из фиксаналя.

1 — мерная колба; 2 — воронка; 3 — стаканчик для взвешивания; 4 — пластмассовая промывалка с дистиллированной водой; 5 — нижний боек; 6 — ампула с фиксаналом; 7 — верхний боек

Затем доливают воду до кольцевой метки, плотно закрывают колбу пробкой и тщательно перемешивают раствор, многократно переворачивая колбу вверх дном.

Для быстрого приготовления растворов точной концентрации применяют фиксаналы. *Фиксаналы* — это запаиваемые в стеклянные ампулы точно отмеренные количества реактива, необходимого для приготовления раствора заданной молярной концентрации. Информация об объеме и концентрации раствора, получаемого из одной ампулы фиксанала, приводится на этикетке. Для вскрытия ампул с фиксаналами прилагаются специальные стеклянные бойки.

Для приготовления раствора в мерную колбу 1 емкостью 1–2 л, наполовину заполненную дистиллированной водой, ставят химическую воронку 2 диаметром 9–10 см с вложенным в нее бойком 5. Сухую, тщательно вымытую ампулу 6 со снятой этикеткой слегка ударяют углублением на дне об острие бойка 5 (рис. 3.2, б), вторым бойком 7 пробивают верхнее или боковое отверстие и дают содержимому полностью вылиться или высыпаться в воронку. Затем, не меняя положения ампулы, тщательно промывают ее изнутри дистиллированной водой из промывалки.

Ампулы с сухими фиксаналами можно вскрыть над сухой воронкой и с помощью одного бойка (боек в воронку не ставится) вначале вскрыть дно ампулы, затем ампулу перевернуть и пробить верхнее отверстие.

3.3. Приемы нагревания и охлаждения

Нагревание

Нагревание пробирок. Пробирку с раствором (рис. 3.3, а) крепят в держателе в слегка наклоненном положении.

❗ Отверстие пробирки должно быть направлено от себя и от соседей!

Осторожно, слабым пламенем горелки 1 прогревают всю пробирку 2, затем доводят до кипения верхний слой жидкости и, наконец, нагревают пробирку снизу, доводя до кипения все ее содержимое.

Нагревание плоскодонной посуды. Плоскодонную посуду нагревают газовой горелкой на треножнике с сеткой. Треножник 5 и газовую горелку 1 ставят на пластину из теплоизолирующего материала 6 для защиты поверхности рабочего стола.

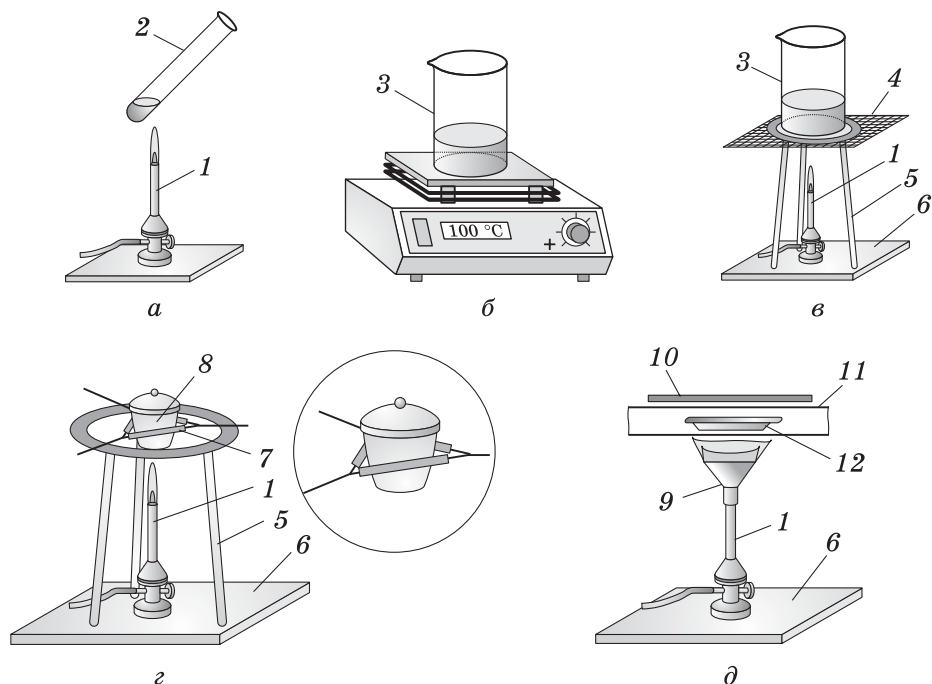


Рис. 3.3. Приемы нагревания:

а — в пробирке; *б, в* — в плоскодонной тонкостенной посуде; *г* — в тигле; *д* — в реакционных трубках.

1 — горелка; 2 — пробирка; 3 — стакан; 4 — асбестовая сетка; 5 — треножник; 6 — теплоизолирующая подставка; 7 — треугольник; 8 — тигель; 9 — насадка «ласточкин хвост»; 10 — тепловой экран; 11 — реакционная трубка; 12 — лодочка

Нагревание колб. Для нагревания круглодонных колб применяют электрические колбонагреватели, бани (песчаные, водяные) и газовые горелки. При использовании газовой горелки колбу греют через сетку. Зазор между сеткой и нагреваемой колбой должен составлять 1–3 мм.

Нагревание тиглей. Тигель 8 устанавливают в фарфоровом треугольнике 7 на треножнике 5 или в кольце штатива, осторожно разогревают, а затем сильно прокалывают в пламени горелки (рис. 3.3, *г*). Температура при этом не превышает 500 °С. До более высоких температур (600–700 °С) тигель нагревают на паяльной горелке. О примерной температуре тигля можно косвенно судить по его свечению (табл. 3.1). Использование тигельных, шахтных и муфельных электрических печей позволяет вести нагревание при контролируемой температуре до 1100 °С.

Таблица 3.1. Свечение твердых тел

Температура, °С	Оттенок свечения	Температура, °С	Оттенок свечения
500–600	Темно-красное	1000–1200	Белое
600–800	Вишнево-красное	Выше 1500	Ярко-белое
800–1000	Желтое		

Нагревание реакционных трубок. Горизонтальные реакционные трубки (рис. 3.3, *д*) нагревают с помощью трубчатых электрических печей или газовой горелки с насадкой «ласточкин хвост» 9. Для повышения температуры в реакционной трубке 11 при нагревании газовой горелкой поверх трубки устанавливают экран 10 из жаростойкого материала.

Нагревание вертикальных реакторов. Вертикальные реакторы в зависимости от условий проведения синтеза нагревают в шахтных (тигельных) электрических печах или в стакане с водой.

Охлаждение. Приготовление охлаждающих смесей

Охлаждаемый реакционный сосуд погружают в баню (кристаллизатор) или химический стакан с охлаждающей смесью. Для охлаждения до температуры, близкой к 0 °С, используют смесь льда с водой. Присутствие воды необходимо для более эффективного охлаждения реакционного сосуда, так как воздух является плохим проводником тепла.

Для приготовления охлаждающей смеси льда с водой кусок льда заворачивают в плотную ткань и разбивают молотком. Измельченный лед вносят в кристаллизатор (стакан) и добавляют холодную воду.

Более низкой температуры охлаждения можно достичь, если смешать лед с веществами, имеющими низкую криогидратную точку (табл. 3.2).

Таблица 3.2. Состав и минимальная температура охлаждающих смесей

Вещество	NH_4NO_3	NaNO_3	NaCl	$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	HNO_3
Масса, г/100 г льда	45	59	33	143	50
Температура охлаждения, °С	–17,3	–18,5	–21,2	–40	–56

Наибольшее распространение в лабораторной практике получила смесь льда и хлорида натрия с криогидратной точкой –21,2 °С.

Для приготовления такой охлаждающей смеси измельченный лед помещают в большую фарфоровую ступку или кристаллизатор, добавляют соль (35 г на 100 г льда или две полные столовые ложки соли на стакан льда объемом 200 мл) и хорошо перемешивают. Воду добавлять не надо, она образуется сама в результате таяния льда.

3.4. Отделение и промывание осадков

Отделение студенистых осадков и осаждение частиц коллоидного раствора

Синтезируемое вещество может быть получено в виде осадка (кристаллического или студенистого), взвеси или коллоидного раствора. Перед проведением фильтрования кристаллические осадки промывают, студенистые осадки и взвеси перед промыванием уплотняют, чтобы они не забивали фильтр, а коллоидные растворы — коагулируют.

Для отделения студенистых осадков и взвесей прибегают к центрифугированию, основанному на ускорении оседания частиц твердой фазы под влиянием центробежной силы. После центрифугирования раствор легко сливается с осадка. Превратить некоторые студенистые осадки в кристаллические можно нагреванием.

Коллоидные частицы легко проходят через самый тонкий фильтр. Для осаждения коллоидных частиц раствор нагревают или даже кипятят.

Промывание осадка методом декантации

При промывании методом декантации к осадку приливают дистиллированную воду (иногда горячую) или специально приготовленную промывную жидкость, перемешивают стеклянной палочкой и дают осадку отстояться. Затем жидкость с осадка сливают. Эту операцию повторяют несколько раз до полного отмывания осадка от растворимых примесей.

Фильтрование неустойчивых на воздухе веществ

Фильтрование в среде инертного газа. Осадок вместе с растворителем переносят на воронку со стеклянным фильтрующим дном 1 (рис. 3.4, а), следя за тем, чтобы вещество все время находилось под слоем жидкости. Воронку 2 закрывают проб-

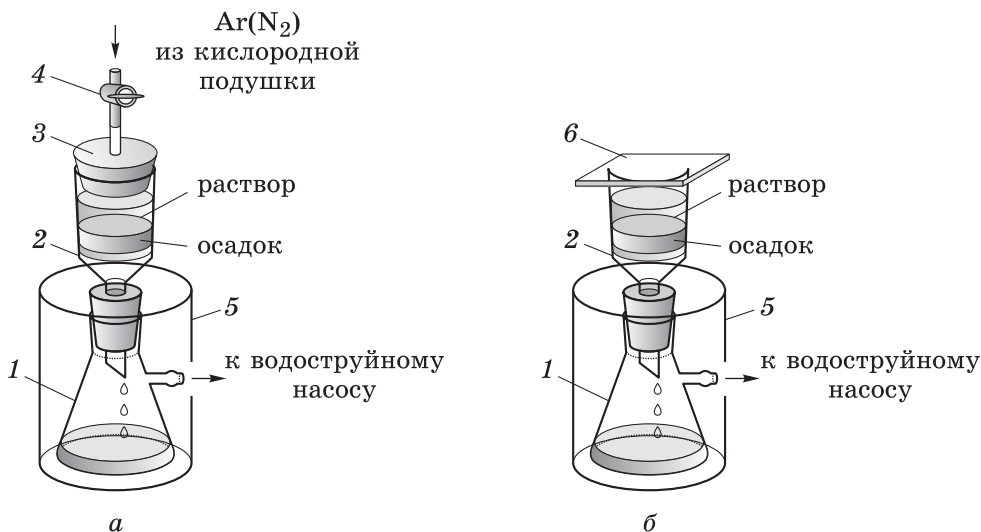


Рис. 3.4. Фильтрация неустойчивых на воздухе веществ:
 а — в инертной атмосфере; б — с пластиной из вакуумной резины.
 1 — колба Бунзена; 2 — воронка со стеклянным фильтрующим дном; 3 — пробка; 4 — зажим; 5 — защитный кожух; 6 — вакуумная резина

кой 3 с трубкой, подсоединенной к «кислородной» подушке с сухим аргонem или азотом, зажим 4 должен быть закрыт. Затем включают водоструйный насос и немного приоткрывают зажим 4 для создания слабого тока инертного газа через воронку. Такой способ позволяет проводить не только фильтрацию без контакта с воздухом, но и высушивание вещества в токе инертного газа.

Фильтрация на воронке, закрытой вакуумной резиной. Осадок вместе с раствором переносят на воронку (рис. 3.4, б), следя за тем, чтобы вещество все время находилось под слоем жидкости. Воронку закрывают вакуумной резиной, которую плотно прижимают к краям воронки, и включают водоструйный насос. Таким способом проводят не только фильтрацию без контакта с воздухом, но и высушивание вещества в вакууме, создаваемом водоструйным насосом.

3.5. Фракционная перегонка

Основные части прибора для фракционной перегонки (рис. 3.5) — колба особой конструкции с двумя горловинами (колба Кляйзена), дефлегматор, холодильник и приемники.

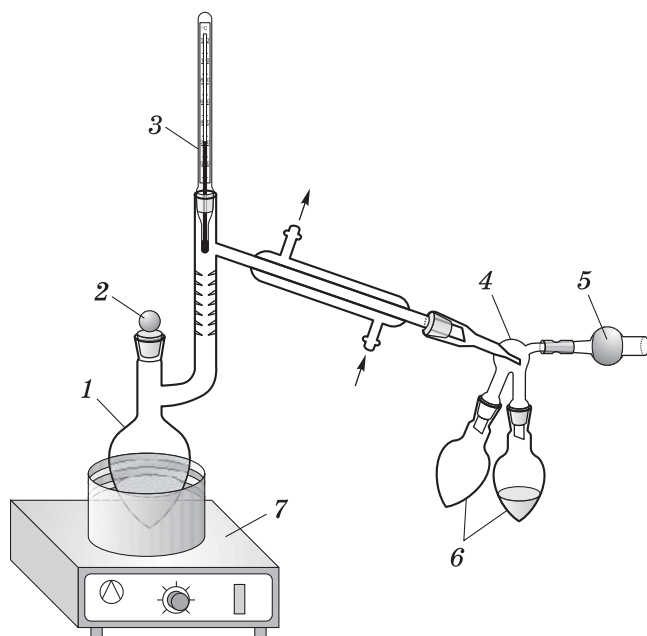


Рис. 3.5. Прибор для фракционной перегонки:

1 — прибор для перегонки (с колбой Кляйзена, дефлегматором и холодильником); 2 — пробка; 3 — термометр; 4 — аллонж «паук»; 5 — хлоркальциевая трубка с твердым осушителем; 6 — приемники; 7 — колбонагреватель

Жидкость разогревают в колбе до кипения, пары поступают в дефлегматор. В дефлегматоре происходит разделение на фракции — пары более летучей жидкости поднимаются вверх, а ме-

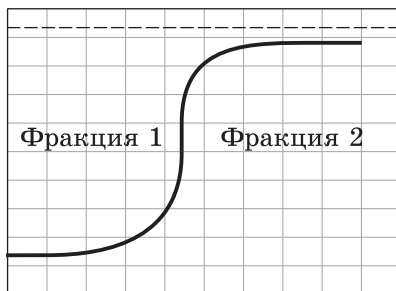
$t_{\text{конд}}, ^\circ\text{C}$



Объем конденсата

a

$t_{\text{конд}}, ^\circ\text{C}$



Объем конденсата

б

Рис. 3.6. Фракционная перегонка:

a — перегонка с идеальным дефлегматором (теория); *б* — перегонка с реальным дефлегматором

нее летучей — конденсируются и возвращаются обратно в перегонную колбу. Для измерения температуры конденсации паров жидкости на выходе из дефлегматора устанавливают термометр.

В идеальном случае вначале должна отогнаться фракция более летучей жидкости, а после ее полной отгонки — менее летучей (рис. 3.6, а). В реальном эксперименте полного разделения жидкости не происходит, и собранная при перегонке фракция всегда содержит примеси другой (рис. 3.6, б).

Для перегонки небольших количеств жидкости (1–5 мл) используют прибор для микроперегонки (рис. 3.7). Такой прибор легко сделать из двух пробирок Вюрца.

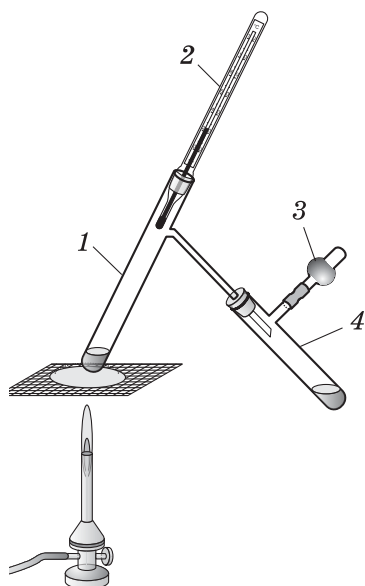


Рис. 3.7. Прибор для микроперегонки:

1, 4 — пробирки Вюрца; 2 — термометр; 3 — хлоркальциевая трубка с твердым осушителем

! Перегонку никогда не ведут досуха. В колбе всегда должно оставаться немного жидкости!

3.6. Правила сборки приборов

При сборке прибора следует руководствоваться следующими основными правилами.

1. В приборе не должно создаваться избыточное давление газа, равно как и его разрежение. Нужно помнить, что нагревание даже пустой закрытой колбы ведет к повышению в ней давления воздуха (рис. 3.8, а). Всегда должно быть предусмотрено свободное сообщение внутреннего объема прибора с атмосферой. Понижение давления газа в приборе может привести к обратному перебрасыванию жидкости. Чтобы избежать неприятных последствий снижения давления, пустые предохранительные промывалки ставят обратным ходом (рис. 3.8, б).

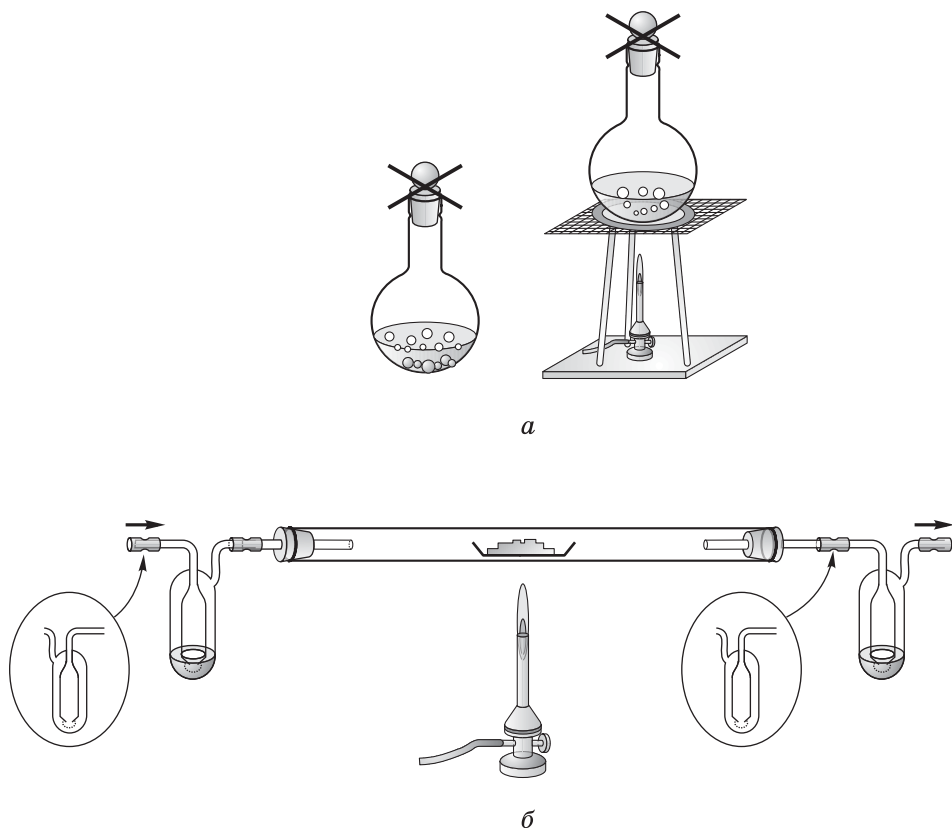


Рис. 3.8. Основные правила сборки приборов

2. Для контроля расходования газа в реакции на входе и выходе прибора устанавливают промывалки-счетчики пузырьков (рис. 3.9). Эти промывалки могут быть заполнены вазелиновым маслом или концентрированной серной кислотой.

3. Прибор должен занимать минимум места на рабочем столе или в вытяжном шкафу. Кроме линейного, возможны и другие варианты монтажа приборов, например зигзагообразный, кольцевой и т. д.

4. Свободный внутренний объем прибора должен быть минимальным. Размер посуды выбирают в соответствии с количеством взятых реагентов и объемом выделяющихся в реакции газов.

5. Резиновые соединительные трубки должны быть минимальной длины (рис. 3.9), так как резина взаимодействует с агрессивными газами и парами (хлор, пары брома, оксиды азота и др.).

6. Резиновые соединительные трубки должны плотно облегать соединяемые детали. Наиболее плотное соединение получается,

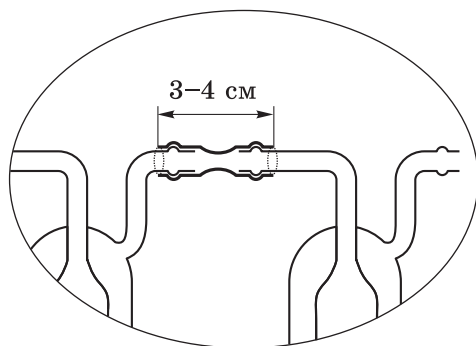


Рис. 3.9. Соединение с помощью резиновой трубки

если резиновую трубку надевают на стеклянную трубку с оливкой (рис. 3.9).

❗ Не допускается соединять друг с другом несколько резиновых трубок!

Крепление прибора на штативе

При сборке прибора на штативе следует обратить внимание на некоторые особенности монтажа.

Лапки и кольца. Прибор крепят на штативе с набором лапок и колец разной конфигурации. Вначале подбирают наиболее подходящие по размеру и назначению лапки и кольца. Для их крепления на вертикальных стойках штатива устанавливают муфты вырезом вверх, в этот вырез вставляют лапку и зажимают винтом крепления (рис. 3.10, б). Раздвижная часть лапки состоит из неподвижной и подвижной частей, которые фиксируются винтом. Для горизонтального крепления деталей прибора лапку устанавливают неподвижной частью вниз (рис. 3.10, в).

Монтаж прибора. Стеклянные элементы прибора крепят в лапках штатива через мягкий прокладочный материал (резину, стеклоткань), предпочтительно за цилиндрическую часть, что обеспечивает наиболее надежную их фиксацию. Для крепления деталей, попадающих в зону нагрева, в качестве прокладки в лапках используют только негорючий материал.

В качестве примера рассмотрим сборку прибора для фракционной перегонки жидкостей (рис. 3.10). Вначале устанавливают штативы 1 и колбонагреватель 2. Над колбонагревателем на расстоянии 5–10 мм от нагревательного элемента крепят колбу 3 (за цилиндрическую часть горловины, а не за шлиф!). К колбе вертикально подсоединяют дефлегматор 4 и закрепляют в лапке. Затем устанавливают холодильник в лапке другого штатива,

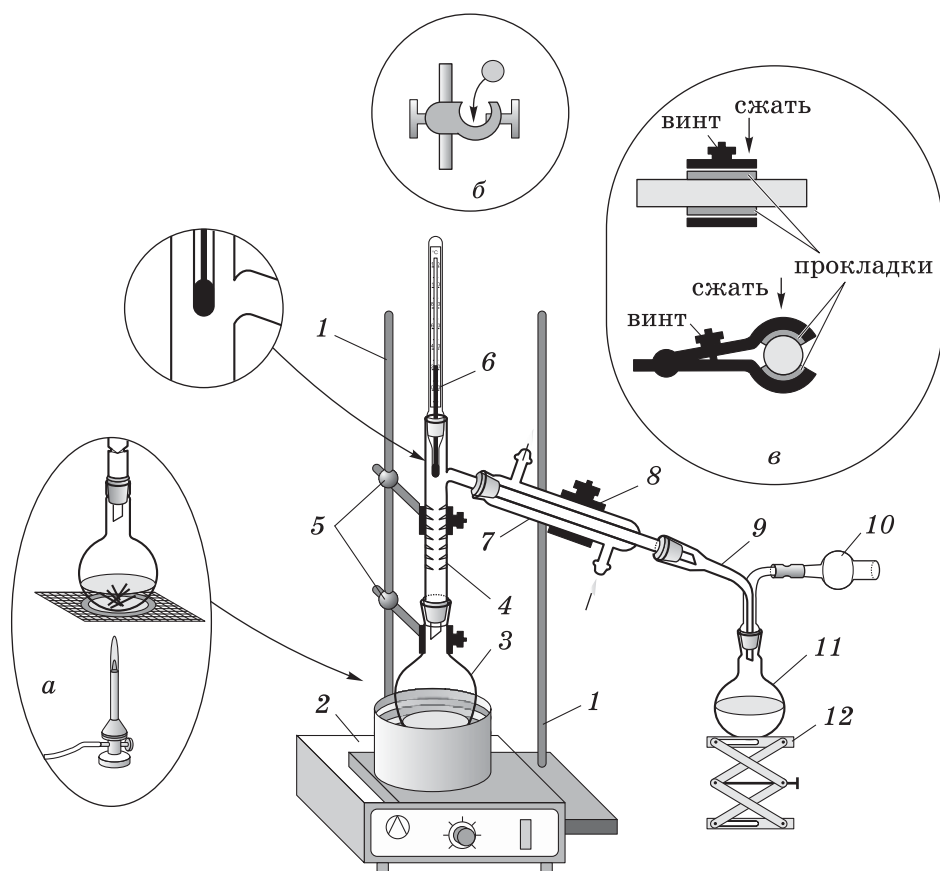


Рис. 3.10. Схема сборки и крепления прибора для фракционной перегонки:

а — нагревание газовой горелкой; *б* — крепление лапок и колец; *в* — горизонтальное крепление деталей прибора.

1 — штативы; 2 — колбонагреватель; 3 — колба; 4 — дефлегматор; 5, 8 — лапки; 6 — термометр; 7 — холодильник; 9 — аллонж; 10 — хлоркальциевая трубка; 11 — приемная колба; 12 — подъемный столик

аккуратно стыкуют с отводом дефлегматора и закрепляют лапку винтом. С помощью резиновых колец к холодильнику прикрепляют аллонж 9 с хлоркальциевой трубкой 10 и приемную колбу 11. Под колбу-приемник можно поставить подъемный столик 12. Термометр 6 устанавливают в последнюю очередь.

Вместо колбонагревателя в практикуме часто используется газовая горелка (рис. 3.10, *а*). В этом случае над горелкой помещают асбестовую сетку. Между горелкой и сеткой должно оставаться достаточное место для пламени. Колбу 3 устанавливают над сеткой на расстоянии 3–5 мм.

Проверка герметичности прибора

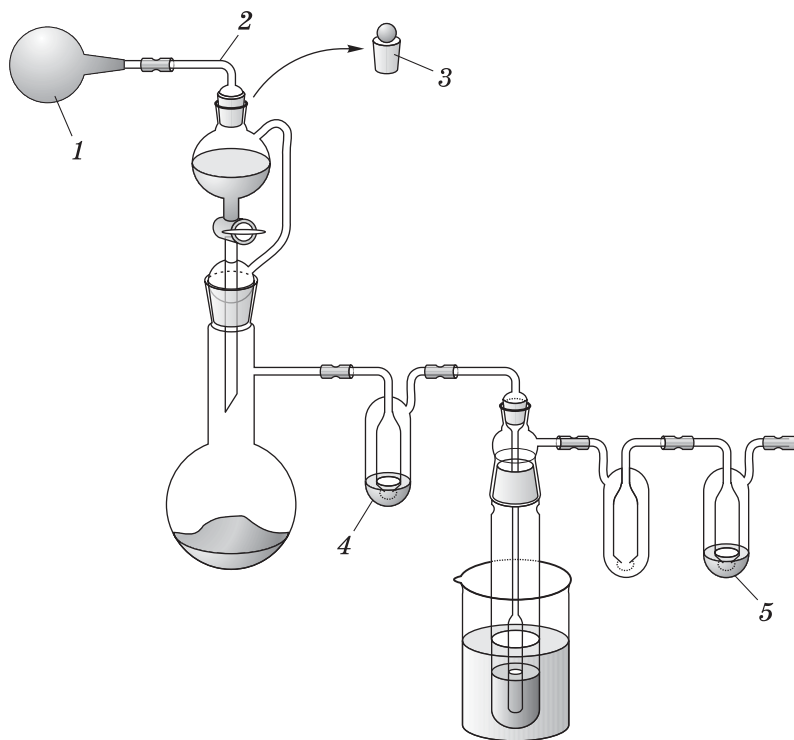


Рис. 3.11. Проверка прибора на герметичность:

1 — груша; 2 — переход «трубка-шлиф»; 3 — пробка; 4, 5 — промывалки

Для проверки герметичности сборки присоедините к прибору резиновую грушу 1 (рис. 3.11). Слегка сдавите грушу — в герметичном приборе синхронно должен измениться уровень жидкости во всех промывалках.

ЧАСТЬ II

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ

4. ОЧИСТКА ВЕЩЕСТВ И ОСНОВЫ ТЕХНИКИ РАБОТЫ В ЛАБОРАТОРИИ

4.1. Очистка солей методом перекристаллизации из раствора

Вещества для очистки: хлориды натрия, калия, аммония; нитрат калия, дихромат калия; сульфаты калия и меди; алюмокалиевые квасцы и другие соли, содержащие нерастворимые (песок, мел и др.) и растворимые примеси (сульфаты, хлориды).

Методом перекристаллизации очищают растворимые вещества и от нерастворимых, и от растворимых примесей. Нерастворимые примеси не переходят в раствор при растворении солей, а растворимые не кристаллизуются при выделении очищаемой соли из раствора.

Перед началом работы постройте график зависимости растворимости очищаемой соли от температуры по данным, приведенным в таблице П.4 (см. Приложение 2). По графику выберите наиболее подходящий способ перекристаллизации: охлаждение раствора (*Способ 1*), выпаривание растворителя (*Способ 2*) или высаливание (*Способ 3*). Возможна комбинация методов. Теоретический выход должен составлять не менее 60% без учета примесей.

Очистка методом перекристаллизации включает в себя несколько стадий:

- 1) растворение очищаемой соли в воде;
- 2) отделение нерастворимых примесей методом горячего фильтрования;
- 3) выделение растворенного вещества в кристаллическом виде;
- 4) высушивание полученных кристаллов.

Способ 1. Перекристаллизация методом охлаждения насыщенного раствора

Этот способ используется для очистки солей, растворимость которых очень сильно зависит от температуры (рис. 4.1).

Особую сложность представляет перекристаллизация кристаллогидратов, так как в зависимости от условий могут образовываться кристаллогидраты с разным количеством молекул кристаллизационной воды.

Приготовление раствора. Рассчитайте количества очищаемой соли и дистиллированной воды, необходимые для приготовления 30–40 г раствора, насыщенного при 60 °С. Отмеренное с помощью мерного цилиндра количество воды налейте в химический ста-

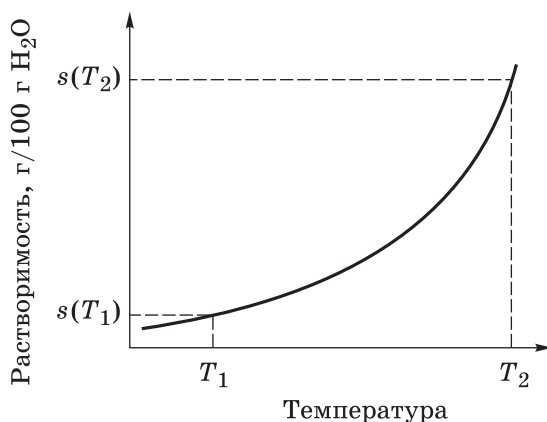


Рис. 4.1. Зависимость растворимости соли от температуры

кан. Возьмите необходимую навеску очищаемой соли и высыпьте ее небольшими порциями в воду, перемешивая стеклянной палочкой. стакан поставьте на треножник с сеткой (рис. 4.2). Содержимое стакана нагрейте при периодическом перемешивании примерно до 95 °С (*не кипятите!*).

Очистка от нерастворимых примесей методом горячего фильтрования. Изготовьте бумажный складчатый фильтр 3 и поместите его в стеклянную воронку 2 (рис. 4.3, а). Металлический кожух обогревателя 1 заполните водопроводной водой.

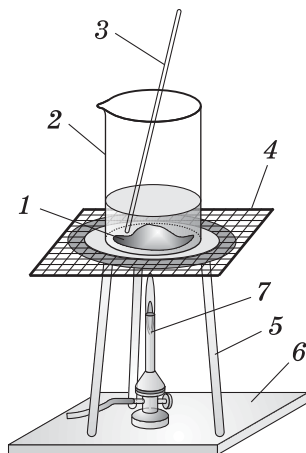


Рис. 4.2. Растворение соли в воде:

1 — растворяемое вещество; 2 — стакан; 3 — стеклянная палочка; 4 — асбестовая сетка; 5 — треножник; 6 — термостойкая подставка; 7 — газовая горелка

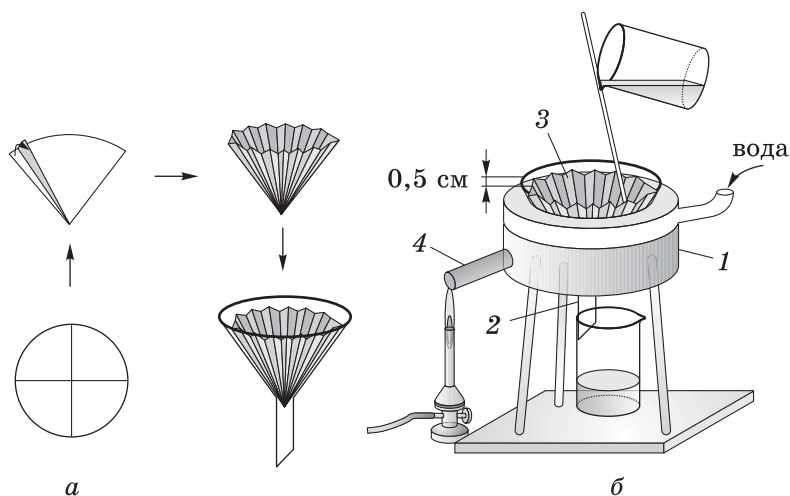


Рис. 4.3. Горячее фильтрование: а — вариант изготовления складчатого фильтра; б — фильтрование на воронке с водяным обогревом. 1 — водяной обогреватель; 2 — стеклянная воронка; 3 — складчатый фильтр; 4 — отросток для нагревания воды

Включите газовую горелку и нагрейте воду в обогревателе 1 через отросток 4 до слабого кипения (рис. 4.3, б). Горячий раствор ($\sim 95^\circ\text{C}$) очищаемой соли осторожно перелейте небольшими порциями по стеклянной палочке из стакана в воронку 2 со складчатым фильтром 3. Фильтрат соберите в чистый стакан, помещенный под воронку.

Кристаллизация из раствора. После фильтрования и отделения нерастворимых примесей полученный фильтрат оставьте охлаждаться на воздухе до комнатной температуры, затем, при необходимости, поместите в баню со льдом и водой (рис. 4.4). Опустите в раствор термометр и закрепите его в лапке штатива через резиновую прокладку 5. Термометр не должен касаться стенок и дна стакана.

Следует иметь в виду, что охлаждение до низкой температуры обычно ведет к повышению выхода, однако при этом возрастает и риск кристаллизации примесей.

Для ускорения охлаждения, а также инициирования кристаллизации периодически перемешивайте раствор стеклянной палочкой. Отметьте температуру, до которой был охлажден раствор.

Способ 2. Перекристаллизация методом упаривания растворителя

Этот способ используют для очистки солей, растворимость которых мало зависит от температуры. Для отделения от нерас-

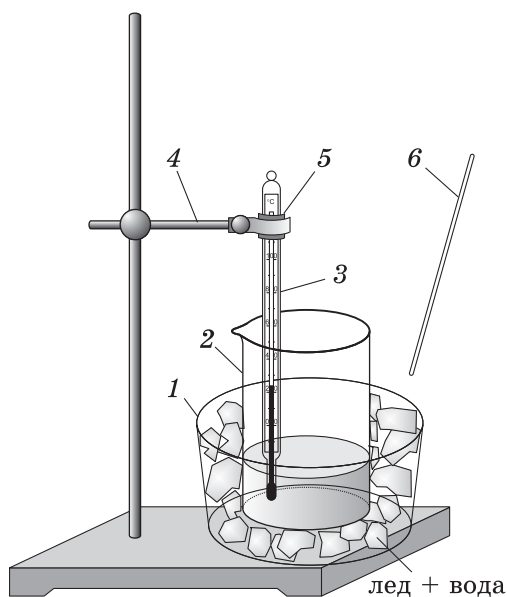


Рис. 4.4. Охлаждение раствора в бане со льдом и водой:

1 — баня со льдом и водой; 2 — стакан с раствором; 3 — термометр; 4 — лапка штатива (малая); 5 — резиновая прокладка; 6 — стеклянная палочка

творимых примесей раствор можно пропустить через гладкий бумажный фильтр при комнатной температуре. Горячее фильтрование проводить не нужно.

Фильтрование через гладкий бумажный фильтр. Для изготовления гладкого фильтра возьмите готовый кружок фильтровальной бумаги, соответствующий размеру воронки, или вырежьте кружок из квадратного листа фильтровальной бумаги (рис. 4.5). Фильтровальную бумагу сложите пополам и еще раз пополам и обрежьте по дуге по размеру воронки. Разверните

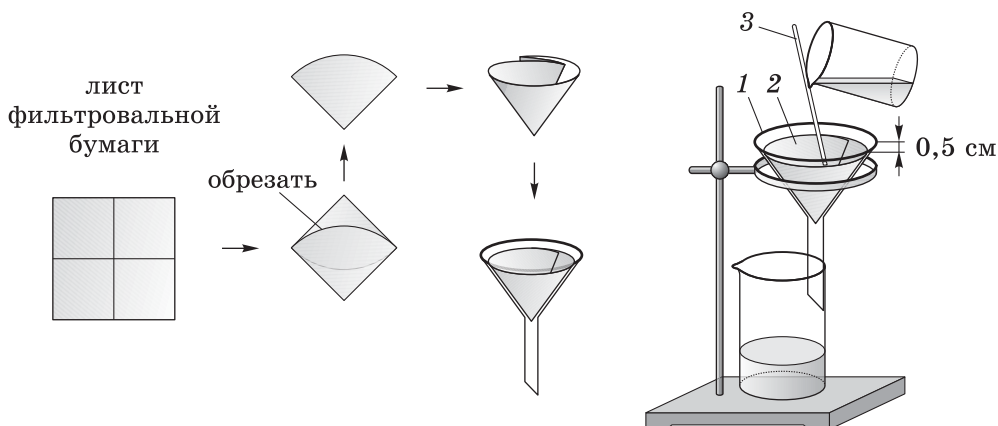


Рис. 4.5. Фильтрование через гладкий фильтр:

1 — стеклянная воронка; 2 — бумажный фильтр; 3 — стеклянная палочка

фильтр в виде конуса и вставьте в воронку. Край фильтра должен быть ниже края воронки примерно на 0,5 см, а после смачивания раствором он должен всей своей поверхностью плотно прилегать к стенкам воронки.

Раствор очищаемой соли осторожно прилейте в воронку 1 с бумажным фильтром 2 по стеклянной палочке 3 (рис. 4.5). Следите, чтобы воронка не переполнялась.

Упаривание. Профильтрованный раствор перелейте во взвешенную фарфоровую чашку и взвесьте. Чашку с раствором поместите на водяную баню (см. рис. 2.21, а на с. 33) и упарьте примерно до половины начального объема. Для ускорения выпаривания поверхность раствора можно обдувать струей воздуха. Затем снимите чашку с раствором и после охлаждения до комнатной температуры вновь взвесьте для определения количества испарившегося растворителя. Если кристаллов выпало мало, то упаривание следует продолжить.

Способ 3. Перекристаллизация методом высаливания

Этот способ используют в первую очередь для выделения из раствора веществ, не выдерживающих нагревания, а также для очистки солей, растворимость которых мало зависит от температуры.

Приготовьте насыщенный раствор хлорида калия, аммония или натрия и профильтруйте его через бумажный фильтр (рис. 4.5) для очистки от нерастворимых примесей. Затем добавьте в фильтрат равный по объему раствор концентрированной соляной кислоты (*в вытяжном шкафу!*). Увеличение концентрации ионов хлора ведет к уменьшению растворимости хлоридов и выпадению осадка.

Фильтрация при пониженном давлении

Полученные в каждом из трех способов осадки отделите от раствора методом фильтрования при пониженном давлении.

Подготовка к фильтрованию при пониженном давлении. Соберите прибор (рис. 4.6) для фильтрования при пониженном давлении, состоящий из воронки Бюхнера 4, колбы Бунзена 1 в защитном кожухе 5 и водоструйного насоса 10. Для предохранения от попадания воды из насоса в колбу Бунзена может быть установлен обратный клапан 8.

Поместите на дно воронки Бюхнера два бумажных фильтра. Диаметр нижнего фильтра должен совпадать с диаметром дна воронки, а диаметр верхнего фильтра должен быть на 0,5–1,0 см больше нижнего. Смочите фильтры водой, края верхнего фильтра расправьте с помощью стеклянной палочки.

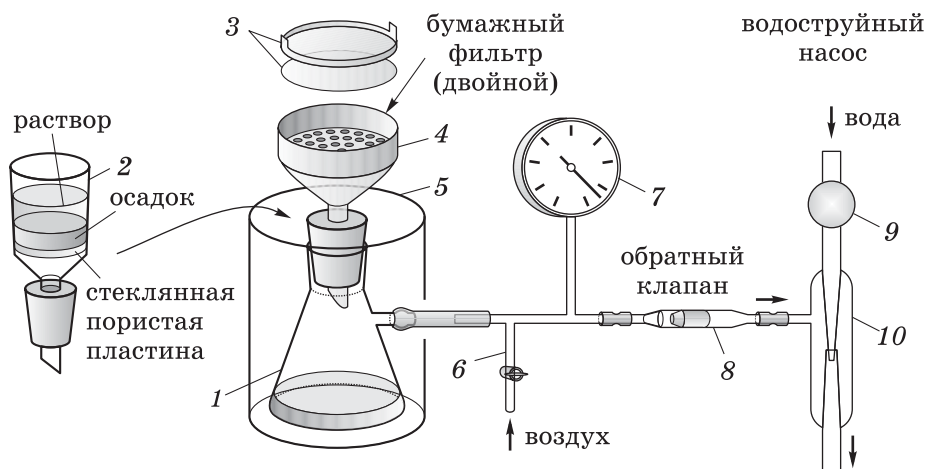


Рис. 4.6. Фильтрация при пониженном давлении:

1 — колба Бунзена; 2 — воронка со стеклянним фильтрующим дном; 3 — бумажный фильтр (двойной); 4 — воронка Бюхнера; 5 — защитный кожух; 6 — кран; 7 — вакуумметр; 8 — обратный клапан; 9 — водопроводный кран; 10 — водоструйный насос

Порядок включения насоса. Вначале откройте воду краном 9 при открытом кране 6, затем медленно закройте кран 6. Напор воды должен быть сильным. Налейте на фильтр небольшое количество дистиллированной воды. Вода должна быстро проходить через фильтр.

Порядок выключения насоса. Вначале запустите воздух в вакуумную систему через кран 6 и лишь затем закройте водопроводный кран 9.

При нарушении порядка действий возможно перебрасывание воды из водоструйного насоса в колбу Бунзена, если нет обратного предохранительного клапана 8.

При фильтровании агрессивных веществ вместо воронки с бумажным фильтром используйте воронку со стеклянним фильтрующим дном 2 (рис. 4.6).

Фильтрация и промывание осадка на фильтре. При выключенном водоструйном насосе перелейте на воронку раствор со взмученным осадком. Осадок на фильтре должен быть равномерно распределен по поверхности фильтра. Включите насос и фильтруйте до максимально полного удаления жидкости, затем насос выключите.

Вещество промойте на фильтре несколько раз минимальным количеством охлажденной дистиллированной воды. Для этого при выключенном водоструйном насосе прилейте в воронку не-

много воды, затем включите насос. После практически полного удаления добавленной воды выключите насос.

Очищенное вещество рассмотрите под микроскопом.

Для контроля качества очистки в одной пробирке растворите в 1–2 мл дистиллированной воды несколько кристаллов исходной неочищенной соли, в другой — несколько кристаллов полученной очищенной соли.

Для определения примеси хлоридов анализируемые растворы подкислите небольшим количеством 10%-й азотной кислоты и добавьте 1–2 капли раствора нитрата серебра.

Для определения примеси сульфатов анализируемые растворы подкислите небольшим количеством 10%-й соляной кислоты и добавьте 1–2 капли раствора хлорида бария.

Если примеси, присутствующие в исходном веществе, обнаруживаются и в очищенном, проведите повторную перекристаллизацию.

Высушивание солей

Высушивание в сушильном шкафу и эксикаторе. Осадок с фильтра аккуратно перенесите с помощью небольшого шпателя в фарфоровую чашку. Устойчивые к нагреванию вещества поместите в сушильный шкаф и сушите при 90 °С до постоянной массы. Для этого каждые 10–15 мин извлекайте чашку с веществом из сушильного шкафа, охлаждайте на воздухе или в эксикаторе до комнатной температуры и взвешивайте.

Вещества, разлагающиеся при нагревании, например кристаллогидраты, или вещества, разлагающиеся на воздухе, сушите при комнатной температуре в эксикаторе с соответствующим осушителем.

Высушивание на фильтровальной бумаге. Если вещество устойчиво на воздухе при обычных условиях, то для быстрого высушивания можно использовать фильтровальную бумагу (рис. 4.7).

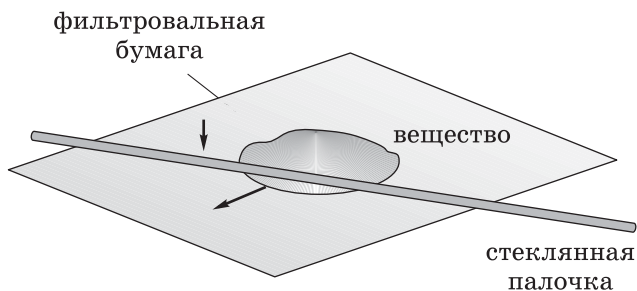


Рис. 4.7. Высушивание вещества на фильтровальной бумаге

Расстелите на ровной поверхности лист фильтровальной бумаги. Высушиваемое вещество аккуратно высыпьте на середину листа, получившуюся горку разровняйте стеклянной палочкой до тонкого слоя. Затем отделите от основной массы небольшое количество вещества и сместите его в сторону, прижимая палочкой к фильтру, затем отделите новую порцию и также переместите к краю. Палочку все время держите параллельно листу бумаги. Повторите эту операцию в обратном направлении. При намокании фильтровальной бумаги замените ее. Высушивание продолжайте до тех пор, пока вещество не перестанет прилипать к палочке и оставлять влажный след на фильтровальной бумаге.

Сухое вещество поместите во взвешенный бюкс и взвесьте.

Рассчитайте выход вещества в процентах от исходной массы (практический выход), а также выход вещества в процентах от теоретически возможного. При проведении перекристаллизации методом выпаривания растворителя или методом высаливания рассчитайте только практический выход.

- Почему при перекристаллизации из раствора происходит очистка от растворимых примесей?
- Какого типа соли нельзя разделить методом перекристаллизации?
- Всегда ли нужно охлаждать раствор до возможно более низкой температуры для кристаллизации вещества?
- Проанализируйте основные причины потерь при перекристаллизации из раствора.
- Почему выпадают кристаллы при высаливании?

4.2. Очистка летучих твердых веществ методом сублимации (возгонки)

В данной работе используется комбинированный метод очистки, включающий возгонку иода и химическую очистку от примесей с помощью иодида калия.

На дно стакана без носика 1 (рис. 4.8) поместите смесь 1 г иода и 0,2 г иодида калия.

Стакан со смесью веществ поместите на асбестовую сетку и закройте маленькой остроконечной колбой 2, заполненной холодной водой (можно добавить в воду кусочек льда). Осторожно нагрейте содержимое стакана на газовой горелке. Возогнаный иод аккуратно снимите с поверхности колбы на заранее взвешен-

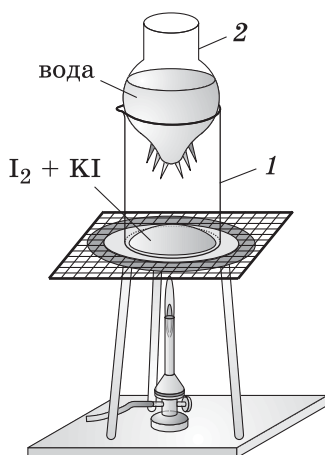


Рис. 4.8. Прибор для возгонки иода:
1 — стакан; 2 — колба с водой

ное часовое стекло с помощью стеклянной палочки и взвесьте. Рассчитайте выход в процентах от исходного количества иода.

- Какие вещества можно очистить методом сублимации?
- Какого типа примеси могут быть удалены при очистке методом сублимации?
- Может ли иод расплавиться при нагревании?

4.3. Очистка воды от растворенных в ней солей методом дистилляции (перегонки)

Простая перегонка позволяет избавиться от растворенных нелетучих примесей в жидкости. В проводимом эксперименте очищаемая вода может содержать примеси сульфата меди или хлорида натрия.

Соберите прибор для перегонки (рис. 4.9). Колбу Вюрца 1 закрепите над колбонагревателем на расстоянии 5–10 мм от нагревательного элемента. Вместо колбонагревателя можно использовать горелку, закрепив над ней сетку. Расстояние между сеткой и дном колбы должно составлять 5–10 мм.

- ❗ Не допускается нагревание колбы открытым пламенем, стекло колбы может треснуть!

Холодильник закрепите наклонно в лапке штатива. Вода в холодильнике должна подаваться снизу вверх. К выходу холодильника подсоедините аллонж 4 и зафиксируйте его с помощью резиновых колец, затем установите термометр. Ртутный шарик термометра должен находиться на одном уровне с отводной трубкой из колбы Вюрца 1.

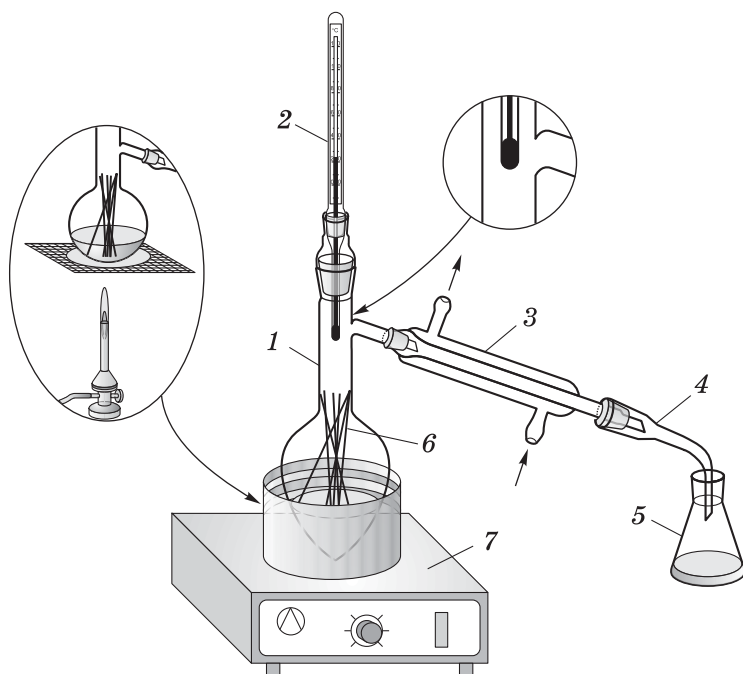


Рис. 4.9. Прибор для перегонки воды:

1 — колба Вюрца; 2 — термометр; 3 — холодильник; 4 — аллонж; 5 — колба-приемник; 6 — капилляры; 7 — колбонагреватель

Изготовьте 7–10 стеклянных капилляров, запаянных с одного конца (п. 3.1), и поместите их в колбу. Можно заменить капилляры фарфоровыми «кипелками».

Перед проведением перегонки определите плотность очищаемой воды (рис. 4.10). Для этого исследуемый раствор налейте в цилиндр 2 (на 50 мл), затем осторожно опустите в него ареометр 1. Ареометр должен плавать, не касаясь стенок цилиндра, а часть шкалы находиться в жидкости.

! Ни в коем случае не отпускайте ареометр, пока не убедитесь в его плавучести, иначе он может удариться о дно цилиндра и разбиться!

Если ареометр тонет или шкала ареометра находится выше уровня жидкости, возьмите ареометр с другой шкалой.

Для определения pH раствора поместите полоску универсальной индикаторной бумаги на стекло, подложив под него небольшой лист белой бумаги (рис. 4.11). Обмакните стеклянную палочку в исследуемый раствор и нанесите каплю раствора на полоску. Сравните окраску индикатора со шкалой, прилагаемой к упаковке универсальной индикаторной бумаги.

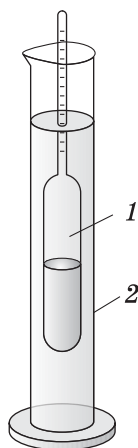


Рис. 4.10. Определение плотности раствора с помощью ареометра

Проведите перегонку на собранном приборе (см. рис. 4.9). Очищаемую воду налейте через воронку в колбу Вюрца 1, объем жидкости при этом не должен превышать половины объема колбы. Заполните холодильник 3 проточной водой.

Включите колбонагреватель (или подожгите горелку) и нагрейте раствор в колбе 1 до кипения. Отрегулируйте интенсивность кипения так, чтобы перегонка воды шла со скоростью 1–2 капли в секунду. При правильно выбранном режиме перегонки на кончике ртутного шарика термометра 2 все время должна висеть капля жидкости. Отгоните первые 5 мл воды и поменяйте приемник. Перегонку

можно завершить, когда в приемнике соберется достаточное для определения плотности количество воды (~ 50 мл).

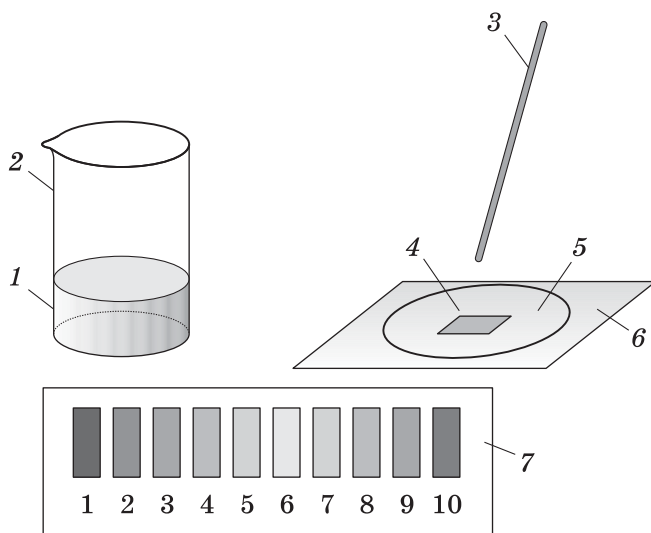


Рис. 4.11. Определение pH раствора:

1 — исследуемый раствор; 2 — стакан; 3 — стеклянная палочка; 4 — индикаторная бумага; 5 — стекло; 6 — белая бумага; 7 — шкала pH

- ! В перегонной колбе всегда должно оставаться некоторое количество жидкости, иначе колба может треснуть от попадания капель жидкости на перегретое стекло!

После завершения перегонки запишите в рабочем журнале температуру перегонки ($T_{\text{кип}}$) и укажите величину атмосферного давления в момент проведения опыта. Определите рН, плотность и электропроводность очищенной воды. Сравните полученные значения с табличными данными.

Пробу очищенной воды (1–2 мл) налейте в пробирку. Добавьте 1–2 капли раствора нитрата серебра (или раствора хлорида бария) для контроля качества очистки воды от примесей хлоридов (или сульфатов).

- От примесей какого типа нельзя очистить воду простой перегонкой?
- Является ли температура кипения характеристикой чистоты вещества?
- Равна ли температура кипения раствора в перегонной колбе температуре конденсации паров?
- С какой целью помещают в колбу стеклянные капилляры?

4.4. Фракционная перегонка соляной кислоты, получение азеотропа (дополнительный опыт)

Соберите в вытяжном шкафу прибор для фракционной перегонки соляной кислоты (рис. 4.12).

Установите колбонагреватель 9 и закрепите над ним в лапке штатива колбу 1 на расстоянии около 5–10 мм от нагревательного элемента. Подсоедините дефлегматор 3, закрепите наклонно холодильник 5 (вода в холодильник должна подаваться снизу вверх), присоедините аллонж 6, а затем установите термометры 2 и 4. Ртутный шарик термометра 4 должен находиться на одном уровне с отводом, ведущим к холодильнику. Для определения объема конденсата в качестве приемника возьмите мерный цилиндр 7. Поместите 7–10 стеклянных капилляров, запаянных с одного конца, в колбу 1.

По плотности перегоняемого раствора соляной кислоты (~15 масс.%) установите ее точную концентрацию c_k (см. табл. П.12 в Приложении 2). Налейте предварительно измеренный мерным цилиндром объем кислоты в колбу 1. Объем взятой кислоты

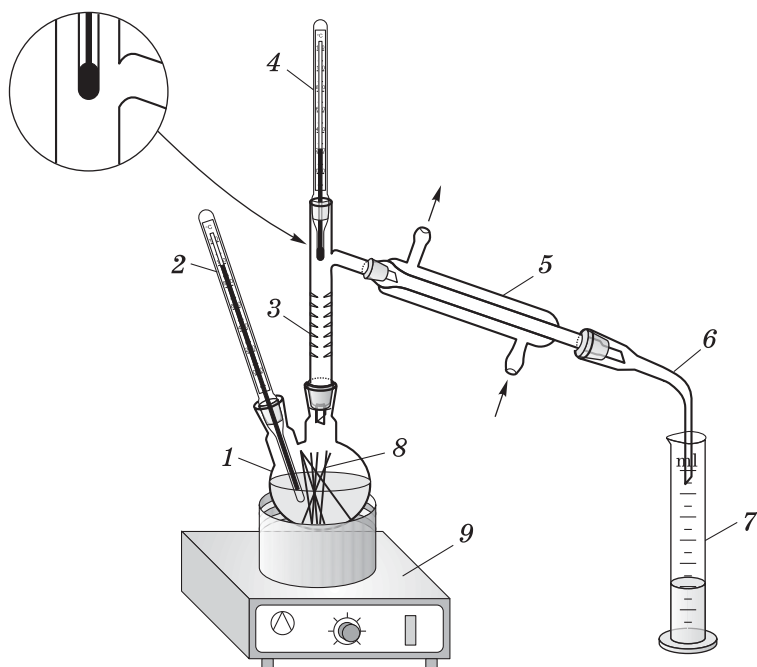


Рис. 4.12. Прибор для фракционной перегонки соляной кислоты:
 1 — колба; 2, 4 — термометры; 3 — дефлегматор; 5 — холодильник; 6 — аллонж; 7 — приемник; 8 — капилляры; 9 — колбонагреватель

не должен превышать половины объема колбы. Заполните холодильник проточной водой.

Нагрейте раствор в колбе до кипения. Отрегулируйте нагрев так, чтобы скорость перегонки составляла 1–2 капли в секунду, а на ртутном шарике термометра висела капля жидкости. После отгонки каждые 15 мл раствора меняйте приемник и отмечайте температуру конденсации ($t_{\text{конд}}$ называют также температурой перегонки). Рассчитайте среднюю для пробы температуру перегонки ($t_{\text{конд}}^{\text{ср.}}$). Записывайте в таблицу 4.1 температуру кипения кислоты в колбе ($t_{\text{кип}}$) и температуру конденсации паров на выходе из дефлегматора ($t_{\text{конд}}^{\text{ср.}}$), а также объем конденсата ($V_{\text{конд}}$). Запишите величину атмосферного давления во время проведения опыта.

В ходе выполнения работы необходимо непрерывно определять состав поступающей в приемник кислоты и пересчитывать состав кислоты, остающейся в колбе 1. Состав кислоты в приемнике можно определить методом титрования стандартным (0,1 н.) раствором щелочи (см. разд. 6.6). Для определения

Таблица 4.1. Фракционная перегонка соляной кислоты ($c_k =$ _____; $P_{\text{атм}} =$ _____)

№	Объем конденсата, мл	Температура кипения, °С	Средняя температура перегонки, °С	Объем пробы конденсата для титрования, мл	Объем щелочи, пошедший на титрование, мл	Состав пробы конденсата, моль/л	Состав кислоты в колбе, моль/л
1	0						
2	15						
3							
4							
5							
6							
...							

концентрации пробу раствора, отобранную с помощью пипетки Мора, перенесите в мерную колбу емкостью 50 мл, доведите дистиллированной водой до метки и перемешайте. Отбирайте в мерную колбу такой объем кислоты, чтобы на титрование 10 мл разбавленного раствора кислоты уходило около 10 мл 0,1 н. щелочи. Из полученных данных рассчитайте молярную концентрацию кислоты.

После охлаждения перегонной колбы с раствором установите концентрацию кислоты, оставшейся в колбе, титриметрическим методом. Рассчитайте процентную концентрацию оставшейся колбе кислоты (плотность кислоты определите с помощью ареометра).

Из полученных данных постройте на одном графике зависимость $t_{\text{конд}}^{\text{ср.}}$ от состава пробы конденсирующейся жидкости и зависимость $t_{\text{кип}}$ от состава кислоты в колбе 1 (часть фазовой диаграммы $\text{H}_2\text{O} - \text{HCl}$).

Сравните полученные значения температуры кипения и состава азеотропа со справочными данными.

- Ознакомьтесь с фазовой диаграммой системы $\text{H}_2\text{O} - \text{HCl}$. Что такое азеотроп?
- Можно ли изменить состав азеотропа?
- Равен ли состав конденсата составу жидкости в колбе при отгонке азеотропа?
- С какой целью используется дефлегматор?

4.5. Получение и очистка газов

Получение и очистка хлора

Для получения хлора соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 4.13.

Между колбой Вюрца 1 и промывалкой с концентрированной серной кислотой 7 установите обратным ходом пустую предохранительную промывалку 5.

Для очистки хлора от аэрозольных примесей дополните прибор фильтрами 3 или 4, для поглощения следов хлороводорода — промывалкой с водой 6, для осушения хлора от паров воды — промывалкой 7 с концентрированной серной кислотой. Заполняйте промывалки 6 и 7 с помощью воронки Мюнке (см. рис. 2.16, б на с. 29).

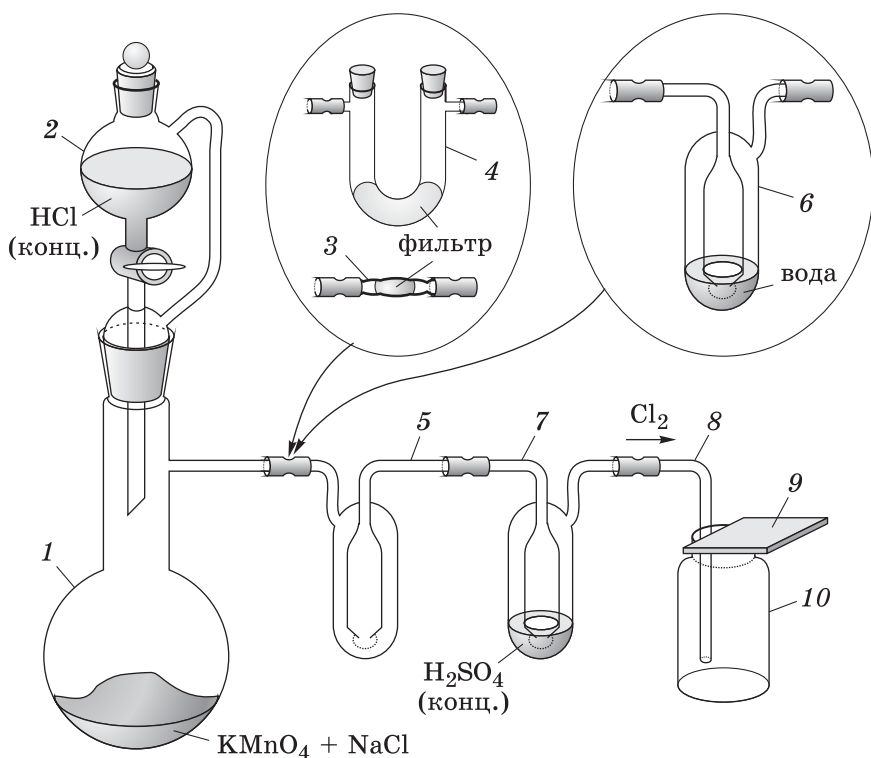


Рис. 4.13. Прибор для получения хлора:

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3, 4 — фильтры; 5 — пустая предохранительная (обратная) промывалка; 6 — промывалка с водой; 7 — промывалка с концентрированной серной кислотой; 8 — стеклянная трубка; 9 — стеклянная пластина; 10 — банка для собирания хлора

В колбу Вюрца 1 с помощью воронки для сыпучих веществ (см. рис. 2.10 на с. 22) поместите тщательно растертую в фарфоровой ступке (в вытяжном шкафу, в защитных очках!) смесь перманганата калия и хлорида натрия, взятых в соотношении 1,5 : 1 по массе. В капельную воронку 2 налейте, используя химическую воронку, 20–30 мл концентрированной соляной кислоты (не более $\frac{2}{3}$ объема воронки). Для собирания хлора подготовьте банку 10, закрывающуюся стеклянной пластиной 9.

Медленно приоткройте кран капельной воронки 2 и добавляйте по каплям концентрированную соляную кислоту к реакционной смеси. Скорость выделения хлора контролируйте по скорости проскакивания пузырьков газа в промывалке 7. Если хлор перестает выделяться при добавлении очередной порции соляной кислоты, содержимое колбы Вюрца можно немного подогреть газовой горелкой через асбестовую сетку.

Заполните банку 10 очищенным сухим хлором и стряхните в нее с кончика шпателя небольшое количество тонкоизмельченного порошка сурьмы. Напишите уравнение реакции.

- Зачем устанавливается пустая промывалка 5, от чего она предохраняет? Почему эта промывалка устанавливается обратным ходом?
- От каких аэрозольных примесей очищают хлор фильтры 3 и 4?
- Какова растворимость хлороводорода в воде?
- Почему для осушения хлора используют концентрированную серную кислоту, а не твердую щелочь?
- Как определить, что банка 10 заполнена хлором?

Получение аммиака и растворение его в воде («фонтан»)

Соберите прибор, изображенный на рисунке 4.14. Колбу Вюрца 1 заполните примерно на $\frac{1}{5}$ объема гранулированным гидроксидом натрия, в капельную воронку 2 налейте концентрированный раствор аммиака.

! При работе со щелочью надевайте защитные очки и перчатки!

Медленно, по каплям прибавьте раствор аммиака к гранулированному гидроксиду натрия и установите ровный ток аммиака. Заполните аммиаком толстостенную банку емкостью 50–100 мл.

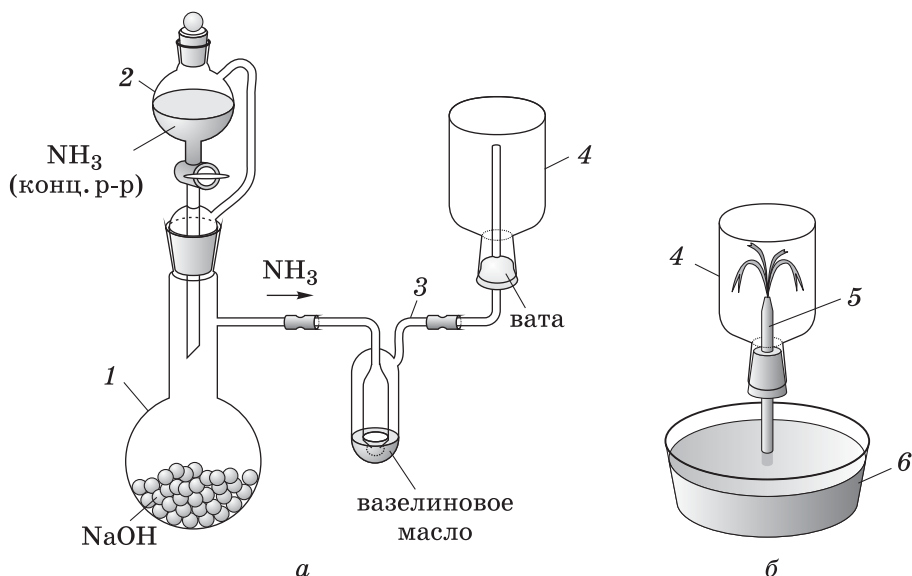


Рис. 4.14. Прибор для получения аммиака:

а — получение аммиака; *б* — демонстрация опыта «фонтан».

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — промывалка — счетчик пузырьков; 4 — толстостенная банка; 5 — стеклянная трубка с капиллярным концом; 6 — кристаллизатор с водой

Плотно закройте банку 4 резиновой пробкой со стеклянной трубкой 5 с оттянутым концом, обращенным внутрь. В кристаллизатор с водой добавьте 3–4 капли фенолфталеина.

Для ускорения появления фонтана можно капнуть 1–2 капли воды в трубку 5. В этом случае сразу же закройте трубку пальцем, переверните банку вверх дном, погрузите наружную часть трубки 5 в кристаллизатор с водой 6 и уберите под водой палец с трубки.

Напишите уравнения реакций и объясните наблюдаемые явления.

- Как установить, что банка заполнилась аммиаком?
- Какие равновесия устанавливаются в водном растворе аммиака?
- Какими способами можно получить различные газы в лаборатории?
- Какие реагенты и поглотители используются для очистки газов от различных примесей?

4.6. Практикум повышенной сложности по теме «Очистка веществ»

4.6.1. Разделение солей кадмия и меди методом ионообменной хроматографии

Для разделения солей кадмия и меди используют катионообменные смолы (катиониты), содержащие активные группы $-\text{SO}_3\text{H}$, $-\text{COOH}$, $-\text{OH}$ с подвижными ионами водорода ($Kt-\text{H}$). Разделение с использованием ионообменной хроматографии основано на обратимом обмене подвижных ионов водорода смолы и ионов металлов: $Kt-\text{H} + \text{M}^{n+} = Kt-\text{M} + n\text{H}^+$.

Приготовьте в стакане раствор, содержащий 10 мл 0,1 М раствора нитрата кадмия и 10 мл 0,1 М раствора сульфата меди. В другом стакане приготовьте раствор 6 мл глицерина и 5,7 г гидроксида натрия в 120 мл воды.

В качестве ионообменной колонки возьмите бюретку (рис. 4.15) емкостью 50 мл.

Заполните бюретку катионообменной смолой КУ-23 в водородной форме на высоту 20–25 см, затем аккуратно, не допуская образования воздушных пузырьков, налейте дистиллированную воду на 10–15 см выше смолы.

Поставьте под бюретку химический стакан 6. Приоткройте кран 5 бюретки и установите скорость вытекания воды из бюретки примерно 1 мл/мин. Эта скорость должна сохраняться неизменной в течение всего опыта. С помощью универсальной индикаторной бумаги определите pH исходной воды и воды на выходе из бюретки. Для хорошо промытой смолы значения pH не должны различаться.

Через бюретку с промытой смолой пропустите раствор, содержащий соли меди и кадмия. Смола при этом окрашивается в синий цвет. Отметьте pH раствора на вы-

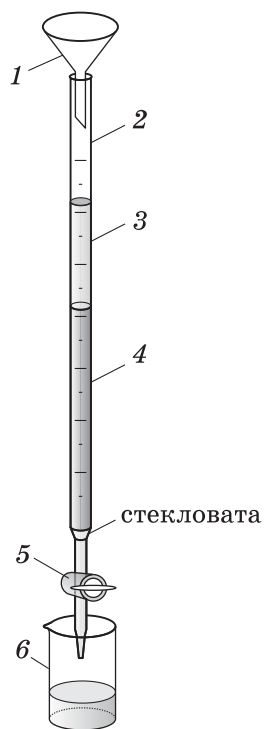


Рис. 4.15. Хроматографическая колонка:

1 — воронка; 2 — бюретка; 3 — раствор; 4 — катионит КУ-23; 5 — кран; 6 — стакан

ходе из бюретки. Для удаления образовавшейся кислоты пропустите через колонку горячую воду. Полноту удаления кислоты контролируйте по изменению рН воды на выходе из колонки.

! Ионообменная смола все время должна находиться под слоем жидкости!

Для селективного извлечения меди пропустите через колонку щелочной раствор глицерина. Затем смолу в колонке промойте горячей водой для удаления гидроксида натрия.

Для извлечения кадмия пропустите через колонку 5%-й раствор соляной кислоты. Полноту извлечения контролируйте по реакции вытекающего из бюретки раствора с сульфидом аммония.

После завершения эксперимента пропустите через смолу вначале раствор соляной кислоты (1 : 3) до полного удаления оставшихся солей кадмия и меди, затем воду до полного удаления кислоты. Смолу оставьте под слоем воды.

Для осаждения меди и кадмия в виде сульфидов добавьте (*по каплям!*) в растворы глицерокупрата натрия и хлорида кадмия раствор сульфида аммония. Проверьте полноту осаждения сульфидов. При полном осаждении добавление последующей капли раствора сульфида аммония не должно вызывать выпадения осадка. Растворы в стаканах нагрейте на треножнике с асбестовой сеткой для коагуляции коллоидной взвеси.

Осадки сульфидов меди и кадмия отделите от раствора методом фильтрования при пониженном давлении на воронке Бюхнера с бумажным фильтром (*наденьте защитные очки!*). Фильтры предварительно взвесьте с точностью $\pm 0,01$ г. После завершения фильтрования влажные фильтры вместе с осадками поместите на часовые стекла и высушите в сушильном шкафу при 100 °С, затем взвесьте.

4.6.2. Получение и очистка иода методом отгонки с водяным паром

Приготовьте растворы 4 г иодида калия в 10 мл воды и 3 г пентагидрата сульфата меди в 10 мл воды и вылейте в большую пластмассовую пробирку для центрифугирования. Пробирку с реакционной смесью поместите в центрифугу и уравновесьте пробиркой с водой. Проведите центрифугирование в течение 5 мин при скорости вращения ротора 5000 об./мин.

Отделите осадок от раствора декантацией, раствор сохраните. К осадку прилейте 20 мл 20%-го раствора иодида калия для

извлечения иода. Тщательно перемешайте содержимое пробирки стеклянной палочкой, вновь проведите центрифугирование, затем отделите осадок от раствора. Полученные растворы объедините.

Соберите на лабораторном столе прибор для отгонки (рис. 4.16). Полученный после центрифугирования раствор, содержащий иод, перелейте из стакана в реактор 2 прибора.

Откройте винтовой зажим 3 и нагрейте воду в колбе 1 до начала слабого кипения, затем осторожно закройте зажим 3 (*остерегайтесь ожога водяным паром!*). Отрегулируйте интенсивность кипения так, чтобы содержимое реактора 2 не перебрасывалось в холодильник, а иод конденсировался на поверхности пальчикового холодильника 6.

После завершения отгонки иода откройте зажим 3 и выключите горелку. После охлаждения прибора осторожно извлеките пальчиковый холодильник и с помощью стеклянной палочки снимите иод на часовое стекло. Поместите часовое стекло с полученным иодом в эксикатор с концентрированной серной кислотой и оставьте сушиться до следующего занятия. Высушенный иод перенесите в заранее взвешенную пробирку и взвесьте. Определите выход иода (в %) по отношению к количеству взятого для его получения сульфата меди.

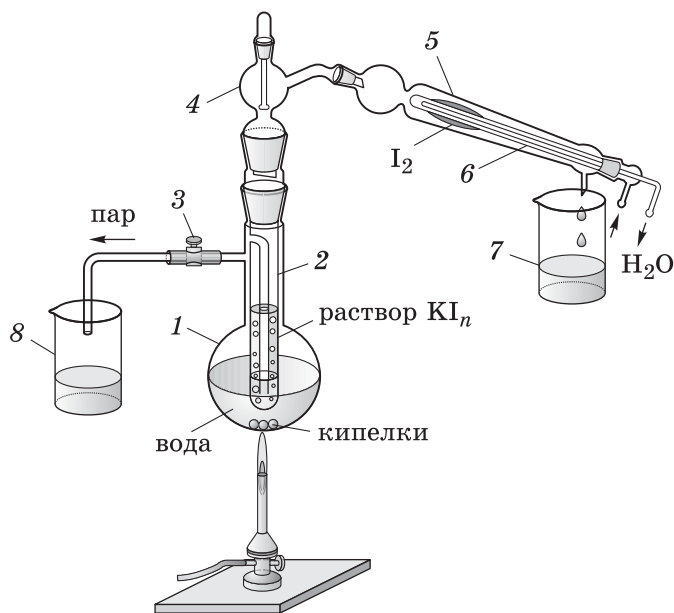


Рис. 4.16. Прибор для отгонки иода с водяным паром:

1 — колба Вюрца; 2 — реактор; 3 — винтовой зажим; 4 — каплеотбойник; 5 — рубашка холодильника; 6 — пальчиковый холодильник; 7, 8 — стаканы

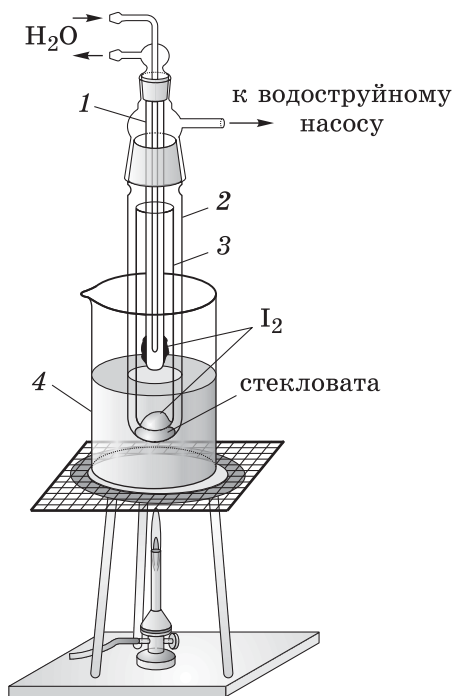


Рис. 4.17. Прибор для возгонки иода в вакууме:

1 — пальчиковый холодильник; 2 — реактор; 3 — пробирка-вкладыш; 4 — водяная баня

Соберите прибор для сублимации в вакууме (рис. 4.17). Иод поместите в пробирку-вкладыш 3. На дно реактора 2 положите немного стекловаты. Осторожно опустите в реактор 2 пробирку 3. Смажьте все шлифы прибора тонким слоем вакуумной смазки.

Подайте воду в пальчиковый холодильник и включите водоструйный насос (*наденьте защитные очки!*). Нагрейте реактор 2 на водяной бане. После возгонки иода уберите водяную баню 4, а после охлаждения прибора до комнатной температуры выключите водоструйный насос.

Возогнанный иод перенесите в предварительно взвешенный бюкс со стеклянной пробкой и взвесьте. Рассчитайте выход (в %) по отношению к количеству исходного иода.

4.6.3. Получение и возгонка в вакууме иодида сурьмы(+3)

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 4.18. В колбу 1 поместите 0,5 г тонкоизмельченной в фарфоровой ступке сурьмы и добавьте иод, взятый в недостатке 10% от стехиометрического количества. Прилейте в колбу 50 мл тетрахлорида углерода.

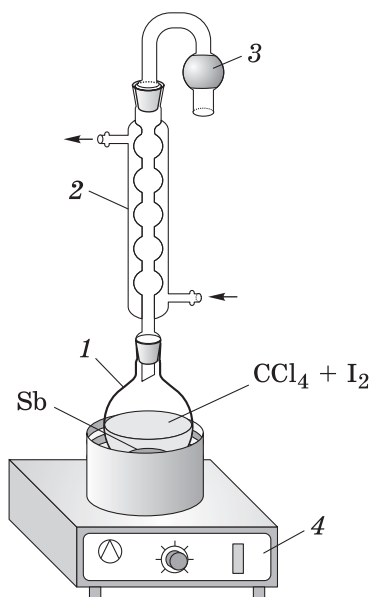


Рис. 4.18. Прибор для синтеза иодида сурьмы(+3):

1 — колба; 2 — холодильник; 3 — хлор-кальцевая трубка; 4 — колбонагреватель

❗ Следует помнить, что тетрахлорид углерода ядовит и впитывается через кожу!

Включите воду для холодильника. Нагрейте смесь в реакционной колбе и выдерживайте при слабом кипении до завершения реакции. Конец реакции характеризуется исчезновением малиновой и появлением соломенно-желтой окраски раствора.

Полученный горячий раствор сразу декантируйте в фарфоровую чашку для выпаривания (*в вытяжном шкафу, в защитных очках и перчатках!*). Чашку установите на водяной бане и выпаривайте до полного удаления растворителя.

Соберите на лабораторном столе прибор, изображенный на рисунке 4.19. Реактор 5 закрепите в лапке штатива так, чтобы он не касался стенок трубчатой печи 1. Триiodид сурьмы поместите во взвешенный контейнер 3, еще раз взвесьте. Контейнер поместите в трубку-вкладыш 4 горизонтального реактора 5.

❗ Работа с вакуумной установкой проводится только под наблюдением преподавателя! Наденьте защитные очки!

Включите вакуумную установку, медленно откройте кран 7 и откачайте воздух из реактора 5. Кран 6 должен быть закрыт. Включите печь 1 и нагрейте до 250 °С. Если температура недостаточна и вещество не возгоняется, то повысьте температуру до начала возгонки.

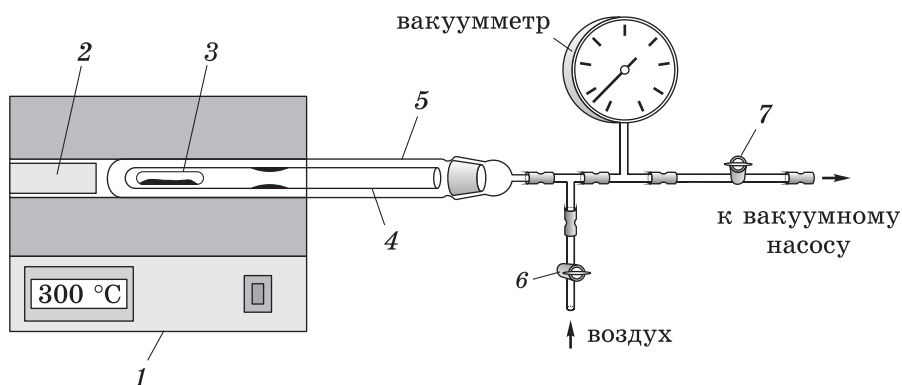


Рис. 4.19. Прибор для возгонки веществ в вакууме:

1 — трубчатая печь; 2 — шамотовая пробка; 3 — контейнер; 4 — трубка-вкладыш; 5 — реактор; 6, 7 — краны

После завершения возгонки выключите печь и сдвиньте ее с реактора. Дождитесь охлаждения реактора до комнатной температуры, закройте кран 7, выключите насос и запустите воздух в установку через кран 6. Извлеките трубку-вкладыш 4. С помощью длинного металлического шпателя снимите сублимированное вещество со стенок трубки 4 и поместите в заранее взвешенную пробирку, взвесьте. Кристаллы полученного вещества рассмотрите под микроскопом.

5. ХИМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭКВИВАЛЕНТОВ. ТЕПЛОВЫЕ ЭФФЕКТЫ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ

5.1. Химическое равновесие

Взаимодействие хлорида железа(+3) с роданидом аммония

Налейте в стакан 15 мл воды и добавьте по каплям примерно равные количества растворов хлорида железа(+3) и роданида аммония. Должен получиться светло-красный прозрачный раствор.

Налейте по 2–3 мл полученного раствора в пять пробирок. Первую пробирку оставьте в качестве эталона. Во вторую пробирку добавьте 2–3 капли раствора роданида аммония, в третью — раствор хлорида железа(+3), в четвертую — избыток сухого хлорида аммония, в пятую — немного сухого фторида аммония. Содержимое пробирок перемешайте стеклянной палочкой и отметьте изменение окраски.

- Какие химические равновесия могут наблюдаться в системе хлорид железа(+3) — роданид аммония?
- Как добавки роданида аммония и хлорида железа(+3) смещают положение равновесия в этой системе?
- Как объяснить изменение окраски раствора при добавлении к нему хлорида аммония и полное обесцвечивание раствора при добавлении фторида аммония?

Равновесие хромат — дихромат

Налейте в две пробирки по 2–3 мл раствора дихромата калия. В первую пробирку добавьте несколько капель 1 М раствора гидроксида натрия. Добавьте в ту же пробирку немного 1 М раствора соляной кислоты.

Во вторую пробирку добавьте несколько капель раствора хлорида бария. Испытайте, растворяется ли выпавший осадок в разбавленной азотной кислоте.

- Как изменяются цвета растворов в пробирках в ходе эксперимента?
- Как влияет на равновесие хромат — дихромат добавление щелочи (кислоты)?

- Каков цвет и состав осадка, выпадающего при добавлении хлорида бария к раствору дихромата калия? Как при этом меняется кислотность среды?

5.2. Определение химических эквивалентов металлов с использованием эвдиометра (дополнительный опыт)

Установите на штативе две бюретки емкостью 50–100 мл, соединенные резиновой трубкой (рис. 5.1). Нижнее деление бюретки 1 должно быть на уровне верхнего деления бюретки 2. Сверху к бюретке 2 через тройник с краном 4 подсоедините пробирку Оствальда 5 с двумя отсеками. Пробирку Оствальда закрепите в лапке штатива. При открытом кране 4 через бюретку 1 заполните бюретку 2 водой до верхнего деления, затем закройте кран 4 и после этого немного опустите бюретку 1. Если прибор

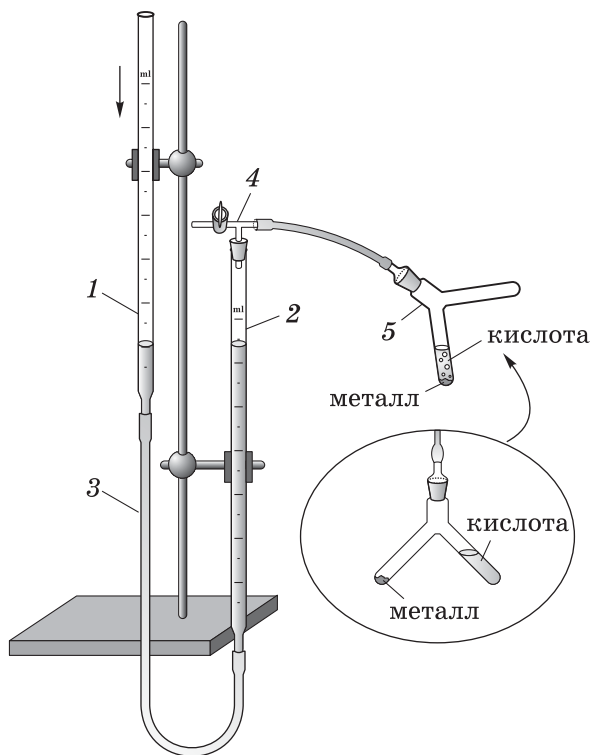


Рис. 5.1. Прибор для определения объема выделившегося газа (эвдиометр): 1, 2 — бюретки; 3 — резиновая трубка; 4 — тройник с краном; 5 — пробирка Оствальда

герметичен, то уровни жидкости в бюретках, немного сместившись, должны оставаться в неизменном положении в течение длительного времени. Убедившись в герметичности прибора, верните бюретку 1 в исходное положение и откройте кран 4.

В один из отсеков пробирки Оствальда поместите навеску металла (цинк, магний, железо, алюминий и др.), взятую с точностью $\pm 0,001$ г. В другой отсек налейте 5–10-кратный избыток 20%-го раствора соляной кислоты (рис. 5.1). Количество металла должно быть таким, чтобы объем водорода, выделяющегося в реакции с кислотой, не превышал вместимости бюретки 2.

! Опыт проводите вдали от огня, водород в смеси с воздухом взрывоопасен!

Запишите начальное положение уровня воды в бюретке 2 в таблицу 5.1 и закройте кран 4. Наклоните пробирку Оствальда 5 так, чтобы кислота перелилась в отсек с металлом и началась реакция металла с кислотой с выделением водорода (рис. 5.1). По мере заполнения бюретки 2 водородом опускайте бюретку 1 для выравнивания уровней воды в бюретках. Большая разность между давлением газа в приборе и давлением окружающего воздуха может негативно сказаться на точности результатов опыта.

После растворения металла в кислоте и охлаждения пробирки Оствальда до комнатной температуры выровняйте уровни воды в бюретках. Отметьте уровень воды в бюретке 2 после завершения эксперимента и занесите показание в таблицу 5.1. По разности

Таблица 5.1. Определение химического эквивалента металла

Результаты проведения опытов	Опыт 1	Опыт 2
1. Масса металла, г		
2. Уровень воды в бюретке 2 до начала реакции, мл		
3. Уровень воды в бюретке 2 после завершения реакции, мл		
4. Объем выделившегося водорода, мл		
5. Атмосферное давление, мм рт. ст.		
6. Давление водяного пара, мм рт. ст.		
7. Температура в комнате, °C		
8. Количество выделившегося водорода, моль		
9. Химический эквивалент металла		
10. Справочное значение эквивалента металла		
11. Расхождение со справочными данными, %		

уровней воды определите объем выделившегося газа. Рассчитайте количество (в моль) выделившегося водорода по уравнению газового состояния (величину атмосферного давления и температуру в лаборатории уточните у лаборанта). Расчет проведите с учетом давления водяного пара над поверхностью воды в бюретке при данной температуре (табл. П.5 в Приложении). Определите количество (в моль) растворенного металла и рассчитайте его химический эквивалент. Результаты внесите в таблицу 5.1.

Повторите опыт с другой навеской металла.

Проанализируйте возможные причины расхождения экспериментальных и расчетных данных.

5.3. Определение энтальпии реакции нейтрализации (дополнительный опыт)

Соберите простейший калориметр (рис. 5.2), состоящий из двух вставленных один в другой тонкостенных химических стаканов емкостью 100 мл и 150 мл. Для разделения стаканов используйте кусочки пенопласта или отрезки резиновых трубок. Внутренний стакан 2 предварительно взвесьте. Для измерения температуры раствора используйте термометр с ценой деления 0,1 °С.

Приготовьте 1 М растворы соляной кислоты и гидроксида натрия. Проведите два опыта, отличающиеся друг от друга порядком смешивания реагентов.

Опыт 1. В сухой взвешенный стакан налейте из мерного цилиндра 30 мл 1 М раствора гидроксида натрия и снова взвесьте.

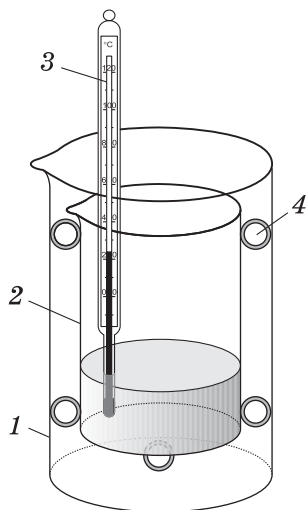


Рис. 5.2. Простейший калориметр:
1, 2 — наружный и внутренний стаканы; 3 — термометр; 4 — пенопласт или резиновые трубки

Таблица 5.2. Определение энтальпии реакции нейтрализации

Но- мер опы- та	Раствор NaOH			Раствор HCl			$m_{\text{(стекло)}}$, г	Скачок темпе- ратуры Δt , °C	Тепловой эффект ре- акции ней- трализации Q , Дж	Энтальпие реакции нейтрали- зации ΔH , кДж/моль
	c , моль/л	V , мл	m , г	c , моль/л	V , мл	m , г				
1										
2										
Среднее значение энтальпии нейтрализации ΔH , кДж/моль										
ΔH (нейтрализации) согласно расчету по справочным данным, кДж/моль										
Расхождение экспериментальных и расчетных данных, %										

В другой взвешенный стакан налейте 20 мл 1 М раствора соляной кислоты и взвесьте. Массы исходных растворов внесите в таблицу 5.2. Перелейте раствор гидроксида натрия во внутренний стакан 2 калориметра, поместите в раствор термометр и запишите температуру. Прилейте 20 мл 1 М раствора соляной кислоты и определите величину максимального подъема температуры раствора (Δt) после сливания реагентов.

Опыт 2. Повторите эксперимент, изменив количества реагентов и порядок их смешивания: к 30 мл 1 М раствора соляной кислоты в калориметре добавьте 20 мл 1 М раствора гидроксида натрия. Исходные растворы предварительно взвесьте.

Результаты измерений занесите в таблицу 5.2 и рассчитайте тепловой эффект реакции нейтрализации по формуле:

$$Q = \Delta T [c_{p(\text{р-р})} \cdot m_{(\text{р-р})} + c_{p(\text{стекло})} \cdot m_{(\text{стекло})}]$$

Здесь $c_{p(\text{р-р})}$ — теплоемкость раствора, которую в приближенных расчетах можно принять равной теплоемкости воды 4,18 Дж/г; $c_{p(\text{стекло})}$ — теплоемкость стекла, 0,75 Дж/г; $m_{(\text{р-р})}$ — общая масса раствора, $m_{(\text{р-р NaOH})} + m_{(\text{р-р HCl})}$, г; $m_{(\text{стекло})}$ — масса участвующей в теплообмене части стакана, которую можно оценить расчетным путем, исходя из массы, геометрических размеров и уровня жидкости в стакане, предполагая, что стенки и дно стакана имеют одинаковую толщину.

Рассчитайте молярную энтальпию реакции нейтрализации для каждого из опытов, а затем среднее значение (табл. 5.2). Исходя из справочных данных по стандартным энтальпиям образования воды, водородных и гидроксильных ионов, рассчитайте теоретическое значение энтальпии реакции нейтрализации и сравните

с экспериментально полученной величиной. Определите расхождение (в %).

- От каких факторов зависит тепловой эффект реакций взаимодействия кислот и щелочей?

5.4. Практикум повышенной сложности по теме «Физико-химические основы неорганической химии»

5.4.1. Калориметрическое определение энтальпии гидратации сульфата меди

Растворение солей может сопровождаться выделением или поглощением тепла, что приводит к изменению температуры раствора на величину Δt ($^{\circ}\text{C}$). Схема расчета теплот растворения приведена на рисунке 5.3.

Учебная калориметрическая установка (рис. 5.4) состоит из измерительного блока 1, блока управления 2 и калориметрического стакана 5. Калориметрический стакан закрывается пластмассовой крышкой с тремя отверстиями: одно — для небольшой воронки 6, через которую вносится исследуемое вещество, второе — для датчика температуры 7, третье — для нагревателя 8.

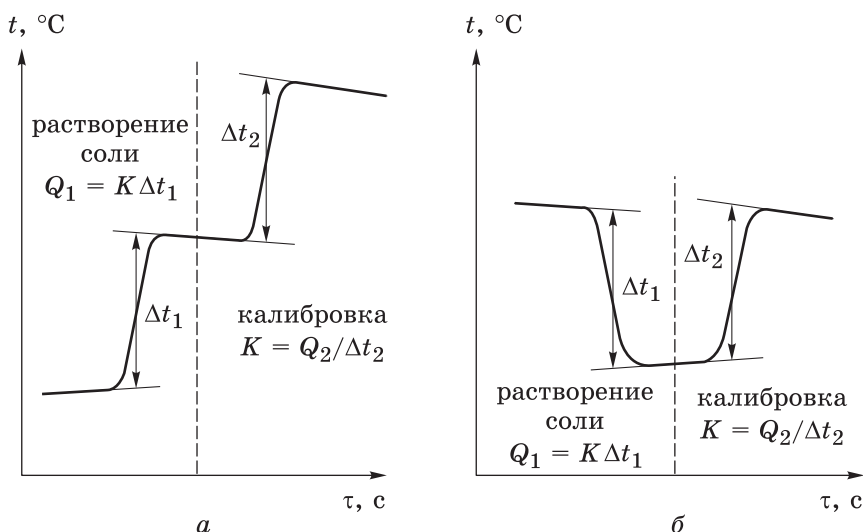


Рис. 5.3. Схема расчета теплоты растворения солей:

а — растворение с выделением тепла; б — растворение с поглощением тепла

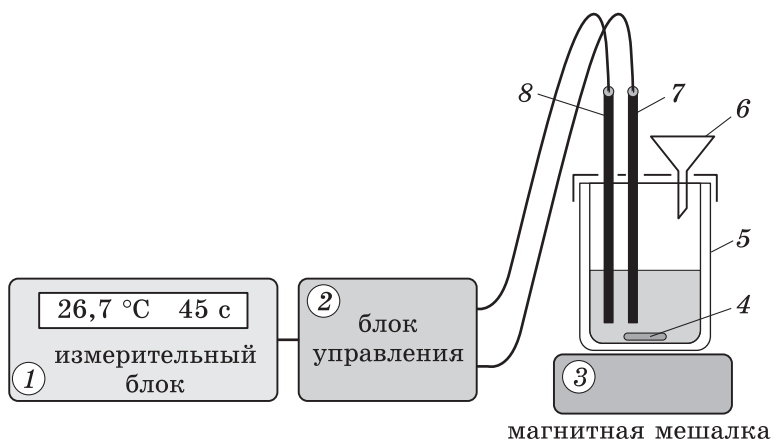


Рис. 5.4. Схема калориметрической установки:

1 — измерительный блок; 2 — блок управления; 3 — магнитная мешалка; 4 — перемешивающий элемент; 5 — калориметрический стакан; 6 — воронка; 7 — термодатчик; 8 — нагревательный элемент

В стакан 5 через воронку 6 налейте 250–300 мл дистиллированной воды комнатной температуры. Уровень воды в стакане должен быть выше уровня масла в нагревателе 8 не менее чем на 10 мм.

Включите перемешивание и дождитесь стабилизации температуры воды в калориметрическом стакане. Значения температуры записывайте в таблицу 5.3. Если в течение 5 мин изменение температуры не превышает 0,5 °C, начните эксперимент.

Поместите 15 г пентагидрата сульфата меди в калориметрический стакан через воронку 6 при непрерывном перемешивании. Воронку промойте небольшим количеством (~10 мл) воды. Записывайте в таблицу 5.3 значения температуры раствора через возможно малые промежутки времени (5–10 с). После полного растворения вещества продолжайте измерение температуры каждые 30 с еще в течение 5 мин. Определите изменение температуры раствора Δt_1 .

Тепловой эффект растворения Q_1 (Дж) рассчитайте по формуле:

$$Q_1 = K \cdot \Delta t_1 \quad (5.1)$$

Здесь K — определяемая экспериментально теплоемкость калориметрической системы.

Для определения K подведите к системе заданное количество тепла Q_2 путем кратковременного включения нагревательного элемента 8:

$$Q_2 = (U^2 \cdot \Delta \tau) / r \quad (5.2)$$

Таблица 5.3. Результаты калориметрических измерений

Измерение начальной температуры воды		Растворение сульфата меди		Калибровка	
τ , с	t , °C	τ , с	t , °C	τ , с	t , °C

В формуле (5.2) U — напряжение постоянного тока, подаваемого на нагреватель, В; r — электрическое сопротивление нагревателя, Ом; $\Delta\tau$ — время пропускания тока, с.

Определите повышение температуры Δt_2 и рассчитайте K по формуле:

$$K = Q_2 / \Delta t_2 \quad (5.3)$$

Результаты измерения температуры представьте в виде графика «температура — время». Рассчитайте тепловой эффект растворения пентагидрата сульфата меди. Результаты расчета внесите в таблицу 5.4.

Таблица 5.4. Расчет энтальпии гидратации сульфата меди

Но- мер опы- та	Навеска $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, г	Тепловой эф- фект процесса растворения		Навеска CuSO_4 , г	Тепловой эф- фект процесса растворения	
		Дж/г	кДж/моль		Дж/г	кДж/моль
1						
2						
Среднее				Среднее		
Энтальпия гидратации, кДж/моль						
$\Delta H(\text{гидратации})$ по справочным данным, кДж/моль						

Аналогично определите энтальпию растворения безводного сульфата меди, предварительно прокаленного при 400 °C в течение 3 ч. Рекомендуемая навеска ~9 г.

На основании результатов определения энтальпий растворения пентагидрата сульфата меди и безводного сульфата меди рассчитайте энтальпию гидратации CuSO_4 . С использованием термодинамических таблиц (см. табл. П.22 в Приложении) рассчитайте теоретическое значение энтальпии гидратации сульфата меди и сравните с экспериментально полученной величиной.

6. РАСТВОРЫ. ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКАЯ ДИССОЦИАЦИЯ

6.1. Пересыщенные растворы

Тиосульфат натрия. В сухую пробирку поместите кристаллы пентагидрата тиосульфата натрия, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, слоем 2–3 см.

! Пентагидрат тиосульфата натрия представляет собой блестящие прозрачные кристаллы. Не используйте частично выветрившийся (обезвоженный) препарат с матовыми белыми включениями!

Закрепите пробирку в лапке штатива и нагрейте ее в стакане с горячей водой (рис. 6.1, а) до расплавления ($t_{\text{пл}} = 48,5^\circ\text{C}$).

Опустите в расплав термометр, закрепив его в другой лапке штатива, а затем уберите стакан с горячей водой (рис. 6.1, б). Дождитесь охлаждения расплава до комнатной температуры, отмечая температуру каждые 4–5 мин, затем внесите в расплав маленький кристалл пентагидрата тиосульфата натрия для инициирования кристаллизации и наблюдайте за изменением температуры. Отмечайте температуру в пробирке каждые 10–15 с в течение 5–7 мин.

Постройте график зависимости температуры от времени. Сравните максимальную температуру при кристаллизации с температурой плавления пентагидрата тиосульфата натрия.

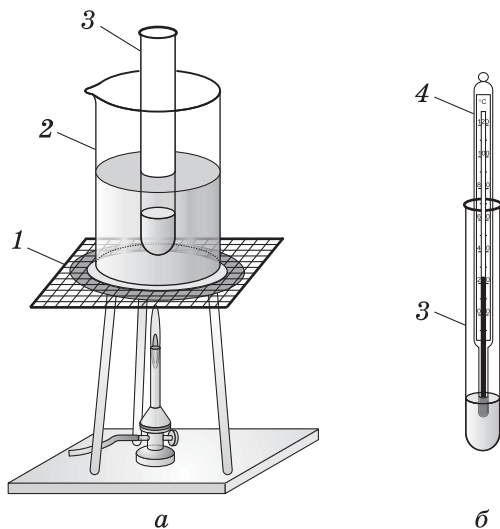


Рис. 6.1. Схема проведения опыта с пентагидратом тиосульфата натрия:

а — нагревание раствора; б — определение скачка температуры при кристаллизации.

1 — треножник с асбестовой сеткой; 2 — стакан с водой; 3 — пробирка с раствором; 4 — термометр

Для извлечения термометра из застывшей соли вновь нагрейте пробирку в стакане с водой до расплавления вещества или растворите соль в воде.

! Не пытайтесь извлечь термометр из застывшего расплава вещества!

- Почему изменяется температура пересыщенного раствора при кристаллизации?
- До какого предельного значения повышается температура?

6.2. Определение растворимости солей в воде

Исходные вещества: хлорид натрия или хлорид калия.

Рассчитайте, пользуясь таблицей растворимости (см. табл. П.4 в Приложении 2), количество соли, необходимое для приготовления 30 г насыщенного при комнатной температуре водного раствора. Возьмите навеску соли с 20%-м избытком относительно рассчитанного количества (взвешивание проводите с точностью до второго знака после запятой).

Поместите навеску в плоскодонную колбу. Прилейте в колбу рассчитанное количество дистиллированной воды и закройте горлышко колбы резиновой пробкой. Перемешивайте ее содержимое в течение 10–15 мин. После отстаивания осадка профильтруйте раствор на воронке с бумажным фильтром. Фильтрат соберите в другую сухую плоскодонную колбу. Измерьте температуру фильтрата.

Пронумеруйте и взвесьте две фарфоровые чашки. Возьмите мерную пипетку Мора, промойте 1–2 раза небольшим количеством исследуемого раствора и отберите по 10 мл раствора в каждую из чашек (рис. 6.2). Взвесьте чашки с растворами, поставьте на водяные бани и нагревайте до полного испарения растворителя. Затем чашки с веществами поместите на 20–30 мин в сушильный шкаф, разогретый до 90 °С.

Чашки с высушенными солями охладите на воздухе до комнатной температуры и взвесьте. Результаты занесите в таблицу 6.1.

Рассчитайте растворимость в г на 100 г воды, а также считайте:

- а) массовую долю (г/100 г раствора, масс. %);
- б) массу вещества в литре раствора (г/л раствора);
- в) молярность (моль/л раствора);
- г) моляльность (моль/кг растворителя);
- д) мольную долю (моль/моль раствора).

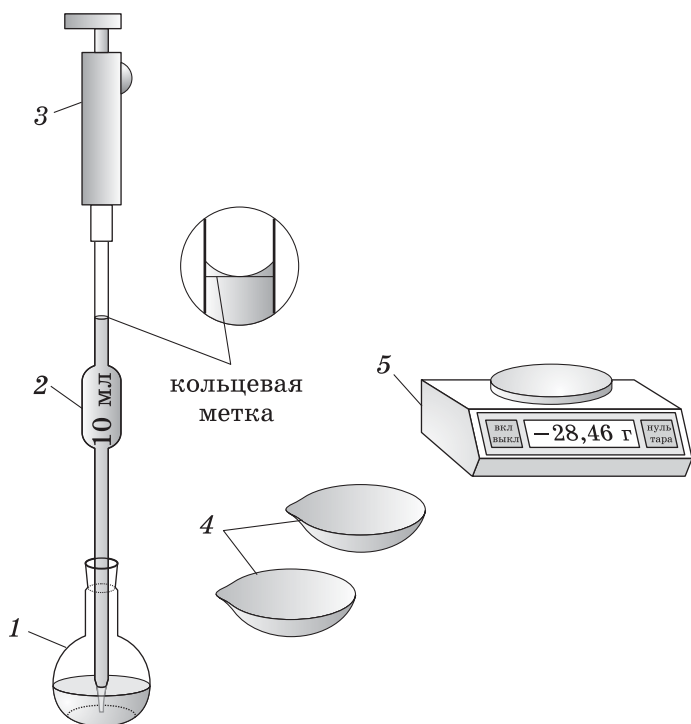


Рис. 6.2. Отбор пробы раствора в чашку:

1 — колба с раствором; 2 — пипетка Мора; 3 — пипетатор; 4 — чашки; 5 — весы

Таблица 6.1. Определение растворимости соли в воде и расчет концентрации раствора

Результаты измерений	Опыт 1	Опыт 2
1. Температура исходного насыщенного раствора, °С		
2. Масса чашки для выпаривания, г		
3. Объем раствора, мл		
4. Масса чашки с раствором, г		
5. Масса раствора, г		
6. Плотность раствора, г/мл		
7. Масса чашки с сухой солью, г		
8. Масса растворенного вещества, г		
9. Масса воды в растворе, г		
10. Растворимость, г/100 г воды		

Окончание табл. 6.1

Результаты измерений	Опыт 1	Опыт 2
11. Концентрация раствора:		
а) массовая доля, г/100 г раствора (масс. %)		
б) г/л раствора		
в) молярность, моль/л раствора		
г) моляльность, моль/кг растворителя		
д) мольная доля, моль/1 моль раствора		
Среднее значение растворимости, г/100 г воды		
Справочные данные, г/100 г воды		
Расхождение со справочными данными, %		

Сравните полученную величину растворимости (г/100 г воды) со справочными данными.

- Завышены или занижены ваши экспериментальные данные по сравнению со справочными данными? Каковы могут быть причины этих расхождений?

6.3. Электропроводность растворов

Зависимость электропроводности раствора электролита от свойств растворителя

В два стакана емкостью 100 мл налейте по 30–50 мл 0,01 М водного и спиртового растворов нитрата кальция соответственно (необходимо согласовать концентрации растворов с возможностями используемых приборов!).

Определите электропроводность спиртового раствора. Для этого опустите измерительный электрод кондуктометра в раствор (рис. 6.3) и запишите показания прибора. Затем извлеките электрод из раствора, промойте дистиллированной водой в химическом стакане и проведите измерения электропроводности водного раствора.

После проведения измерений выключите прибор, а электрод промойте дистиллированной водой.

- Чем объясняются разные значения электропроводности водного и спиртового растворов нитрата кальция одинаковой концентрации?

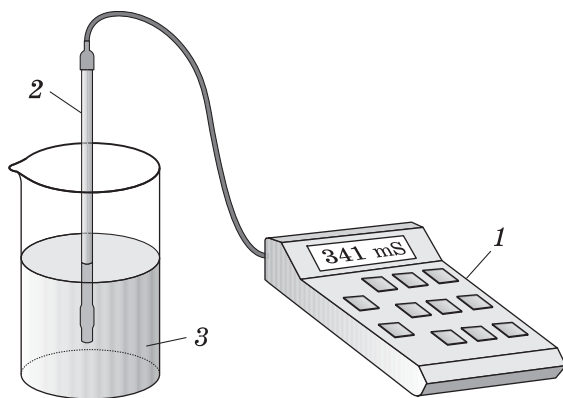


Рис. 6.3. Измерение электропроводности:

1 — кондуктометр; 2 — измерительный электрод; 3 — стакан с раствором

Определение электропроводности растворов кислот и оснований одинаковой нормальности

Налейте в стаканы емкостью 100 мл по 30–50 мл 0,01 н. растворов соляной, серной, уксусной кислот и растворов гидроксида натрия и аммиака.

Измерьте электропроводности растворов с помощью кондуктометра (рис. 6.3). После каждого измерения тщательно промывайте измерительный электрод в стакане с дистиллированной водой.

Расположите кислоты и основания в ряд по мере увеличения их электропроводности.

- Почему электролиты одинаковой концентрации проводят электрический ток по-разному?
- Что такое слабые и сильные электролиты?
- Что такое степень диссоциации?

6.4. Кислотно-основные равновесия в растворах

Сравнение силы кислот и оснований

Кислоты. Налейте в две пробирки по 5 мл 1 М растворов соляной и уксусной кислот и внесите в них одновременно по одинаковому числу гранул цинка. Сравните скорости выделения водорода. Через 1–2 мин в пробирку с соляной кислотой и цинком добавьте немного твердого ацетата натрия. Отметьте изменение скорости выделения водорода.

Основания. Налейте в три пробирки по 3 мл 0,1 М раствора гидроксида натрия, 0,1 М раствора аммиака и 0,1 М раствора аммиака, насыщенного хлоридом аммония, соответственно. Прилейте к растворам в пробирках по 2 мл раствора хлорида магния. Отметьте, в какой из пробирок осадок не образуется. Сравните количества осадков в двух других пробирках. Объясните наблюдаемые явления.

Буферные растворы. Налейте в три пробирки по 3 мл 0,1 н. раствора ортофосфорной кислоты, 0,1 М раствора уксусной кислоты и 0,1 М раствора аммиака.

1. С помощью универсальной индикаторной бумаги определите рН растворов.

2. Добавьте в пробирки сухие соли: ортофосфат натрия к раствору ортофосфорной кислоты, ацетат натрия к раствору уксусной кислоты и хлорид аммония к раствору аммиака. Содержимое пробирок тщательно перемешайте, затем определите рН получившихся растворов.

Напишите уравнения реакций.

- Объясните наблюдаемые явления с использованием положений протолитической теории.
- Что такое буферные растворы?

Гидролиз солей

На стеклянную пластинку поместите три полоски универсальной индикаторной бумаги и с помощью стеклянной палочки смочите одну из них раствором карбоната натрия, другую — раствором хлорида алюминия, а третью — раствором хлорида натрия.

Сравните окраску индикаторной бумаги с эталонной шкалой. Напишите уравнения реакций.

- Объясните, почему при растворении некоторых солей в воде нарушается равенство концентраций ионов H^+ и OH^- .

Взаимоусиливающийся гидролиз

Налейте в пробирку 2–3 мл раствора хлорида алюминия, затем по каплям добавляйте раствор карбоната натрия. Напишите уравнение реакции.

- Какой состав имеет выпавший осадок?
- Как изменяется рН раствора при добавлении карбоната натрия?

6.5. Производство растворимости

Осаждение труднорастворимых солей

Налейте в три пробирки по 2–3 мл растворов хлоридов бария, стронция и кальция.

1. В пробирку с раствором хлорида бария прилейте раствор сульфата натрия.

2. В пробирку с раствором хлорида стронция добавьте насыщенный раствор сульфата кальция.

3. К раствору хлорида кальция добавьте насыщенный раствор сульфата стронция.

Напишите уравнения реакций и объясните наблюдаемые явления.

- В каких случаях при сливании растворов солей не образуется осадок?
- Объясните образование осадков, пользуясь понятием «произведение растворимости».

Растворение труднорастворимых солей

Получите осадки карбоната и оксалата кальция. Для этого к 1–2 мл растворов карбоната натрия и оксалата аммония в пробирках добавьте раствор хлорида кальция. Отделите осадки от растворов декантацией. Разделите каждый осадок на две части.

К осадкам карбоната и оксалата кальция прилейте: а) 1 М раствор уксусной кислоты; б) 1 М раствор соляной кислоты.

Напишите уравнения реакций.

- Объясните полученные результаты, сравнивая константы диссоциации кислот и произведения растворимости солей.

6.6. Приготовление растворов кислот и определение их концентрации методом титрования щелочью (дополнительный опыт)

Исходные кислоты: растворы серной, соляной и уксусной кислот известной плотности d_K .

Концентрацию исходной кислоты c_K найдите по плотности из справочных таблиц (см. табл. П.12 в Приложении).

Приготовление 0,1 н. раствора кислоты. В мерную колбу емкостью 100 мл налейте 40–50 мл дистиллированной воды. С помощью бюретки прилейте в колбу рассчитанное количество исходной кислоты, раствор перемешайте. После охлаждения раствора до комнатной температуры добавьте в колбу дистиллированную воду до кольцевой метки. Закройте колбу пробкой и тщательно перемешайте содержимое, переворачивая колбу вверх дном не менее десяти раз.

Определение концентрации кислоты методом титрования щелочью. Налейте в три конические колбы для титрования 4 емкостью 100–150 мл по 20 мл воды (рис. 6.4). С помощью пипетки Мора отберите из мерной колбы по 10 мл приготовленного раствора кислоты и перенесите в колбы для титрования, затем добавьте по 2–3 капли фенолфталеина. Капли раствора кисло-

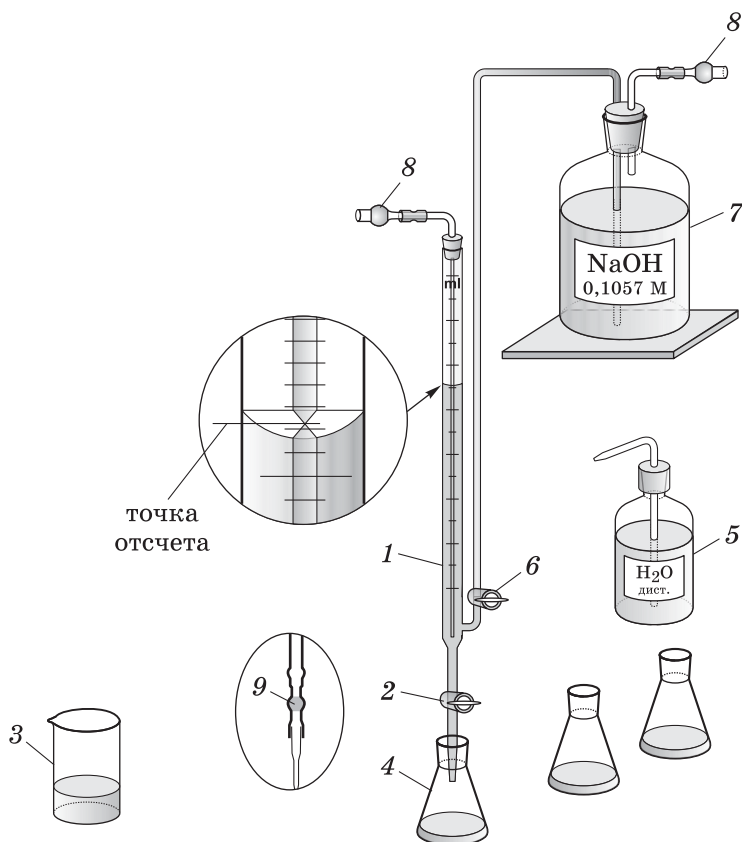


Рис. 6.4. Титрование с помощью бюретки:

1 — бюретка; 2, 6 — краны; 3 — стакан; 4 — конические колбы; 5 — промывалка с водой; 7 — бутылка с раствором; 8 — хлоркальциевая трубка с натронной известью; 9 — клапан-бусинка

ты, попавшие на стенки колбы, смойте дистиллированной водой из промывалки 5.

Заполните бюретку 1 раствором щелочи немного выше деления, принятого за начало отсчета, избыток раствора слейте в стакан 3. Для этого осторожно поверните кран 2 бюретки (при использовании бюретки с клапаном-бусинкой сожмите большим и указательным пальцами и слегка оттяните эластичную трубку на клапане-бусинке 9). Глаз наблюдателя и точка отсчета шкалы бюретки должны находиться на одной горизонтали. Носик бюретки должен быть полностью заполнен раствором без пузырьков воздуха.

Поместите под колбу с титруемым раствором лист белой бумаги. Возьмите колбу за горлышко пальцами одной руки, другой рукой открывайте кран 2 (или клапан-бусинку) бюретки 1. Раствор щелочи из бюретки добавляйте по каплям, вначале быстро, затем медленно, перемешивая раствор круговыми покачиваниями колбы. Очередную каплю добавляйте только после исчезновения малиновой окраски фенолфталеина от предыдущей капли (на белом фоне). Окончание титрования определяется по появлению едва заметной, не исчезающей в течение 30 с малиновой окраски раствора. Отметьте уровень жидкости в бюретке с точностью $\pm 0,05$ мл и добавьте еще одну каплю раствора щелочи. Появление вполне заметной окраски раствора указывает, что последняя капля была избыточной.

Таблица 6.2. Определение концентрации кислоты методом титрования

Кислота	Номер опыта	Объем раствора, мл		Концентрация раствора, н.	
		кислоты	щелочи	щелочи	кислоты
	1	10,0			
	2	10,0			
	3	10,0			
Среднее значение концентрации кислоты					

Снова заполните бюретку раствором щелочи до начального деления и повторите титрование кислоты, находящейся во второй, а затем в третьей колбе. Допустимое расхождение между параллельными измерениями не должно превышать 0,1 мл. Результаты титрования внесите в таблицу 6.2 и рассчитайте концентрацию приготовленной кислоты.

- При какой концентрации водородных ионов реакция раствора при 25 °С нейтральна?
- Что называется ионным произведением воды? Чему равно ионное произведение воды при 25 °С?

- Что такое нормальность раствора? В каких объемных соотношениях будет реагировать щелочь с кислотой при одинаковой нормальности их растворов?

6.7. Зависимость pH раствора соляной кислоты от концентрации (дополнительный опыт)

Приготовьте 0,1 М раствор соляной кислоты, используя соответствующий фиксаж (см. разд. 3.2), или возьмите готовый. Перенесите мерной пипеткой 10 мл этого раствора в мерную колбу емкостью 100 мл. Доведите дистиллированной водой объем раствора до метки и хорошо перемешайте. Полученный 0,01 М раствор кислоты в свою очередь разбавьте в 10 раз и т. д. Для построения зависимости pH от концентрации приготовьте серию из четырех растворов с уменьшающейся концентрацией. Растворы перенесите в сухие пронумерованные стаканы.

Включите pH-метр и проверьте его калибровку. Перед началом измерений тщательно ополосните электроды pH-метра в стакане с дистиллированной водой. Проведите измерения pH, начиная с раствора с минимальной концентрацией. Для этого опустите электроды в стакан с исследуемым раствором и дождитесь стабилизации показаний прибора, затем определите pH другого раствора и т. д. Промывать электроды водой перед измерением pH более концентрированного раствора не нужно. После завершения опыта промойте электроды водой и оставьте в стакане со специальным раствором. Результаты измерений запишите в таблицу 6.3.

Таблица 6.3. Зависимость pH раствора соляной кислоты от концентрации

Номер опыта	$c(\text{HCl})$, моль/л	$\lg c(\text{HCl})$	pH
1			
2			
...			

По экспериментальным данным постройте график зависимости pH раствора от $\lg c(\text{HCl})$ и сравните с зависимостью, рассчитанной по формуле $\text{pH} = -\lg c(\text{HCl})$.

- Всегда ли рассчитанные значения pH совпадают с экспериментальными данными? Если нет, то почему?

6.8. Практикум повышенной сложности по теме «Физико-химические основы неорганической химии»

6.8.1. Определение константы диссоциации уксусной кислоты и ее зависимости от температуры

Константа диссоциации уксусной кислоты. Приготовьте в мерной колбе на 100 мл ~0,5 М раствор уксусной кислоты и уточните ее концентрацию методом титрования щелочью (см. разд. 6.6). Для приготовления растворов меньшей концентрации с помощью пипетки Мора возьмите 10 мл приготовленного раствора кислоты и перенесите в мерную колбу емкостью 50 мл. Доведите дистиллированной водой объем раствора до метки. Полученный раствор кислоты (~0,1 М) в свою очередь разбавьте в 5 раз и т. д. Значения концентраций приготовленных кислот внесите в таблицу 6.4.

Таблица 6.4. Зависимость рН раствора уксусной кислоты от концентрации

Концентрация кислоты		рН	Расчет $K_a = [\text{H}^+]^2 / (c_0 - [\text{H}^+])$			
c_0 , моль/л	$\lg c_0$		$[\text{H}^+]$	$c_0 - [\text{H}^+]$	α	K_a
0,5						
0,1						
...						
...						
Справочное значение K_a						

Растворы перенесите в пронумерованные сухие стаканы для измерения рН. Включите рН-метр и проверьте его калибровку. Перед проведением измерений тщательно ополосните дистиллированной водой электроды рН-метра и осушите их фильтровальной бумагой. Вначале определите рН дистиллированной воды, а затем рН растворов кислот, начиная с раствора с минимальной концентрацией. Для этого опустите электроды в стакан с исследуемым раствором и дождитесь стабилизации показаний прибора. Промывать электроды водой перед измерением рН более концентрированного раствора не нужно. После завершения опыта промойте электроды водой и оставьте в стакане со специальным раствором. Результаты измерений внесите в таблицу 6.4.

Из полученных значений рН рассчитайте концентрацию водородных ионов $[H^+]$, степень диссоциации α и константу диссоциации K_a уксусной кислоты. Результаты расчетов занесите в таблицу 6.4. Сравните полученное значение K_a со справочными данными.

Зависимость константы диссоциации уксусной кислоты от температуры. Приготовьте 50 мл 0,1 М раствора уксусной кислоты. Установите стакан с кислотой на магнитной мешалке с подогревом и включите перемешивание. Измерьте рН раствора. Включите нагревание и записывайте значения рН через каждые 5 °С. При достижении температуры раствора 80–90 °С выключите нагреватель и проведите измерения при естественном охлаждении раствора. Значения рН при охлаждении раствора записывайте с шагом 5 °С.

Таблица 6.5. Зависимость рН раствора уксусной кислоты от температуры ($c_0 = 0,1$ моль/л)

№	Температура, °С	рН	$[H^+]$	$c_0 - [H^+]$	α	K_a	$\lg K$	$10^3/T, K^{-1}$
1								
2								
3								

Полученные данные занесите в таблицу 6.5 и рассчитайте значения константы диссоциации для каждого из измерений. Постройте график зависимости $\lg K$ от $10^3/T$.

7. СКОРОСТЬ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ

7.1. Влияние концентрации реагирующих веществ на скорость реакции тиосульфата натрия с серной кислотой

В этом опыте температура раствора и начальная концентрация серной кислоты поддерживаются постоянными. Изменяется только начальная концентрация тиосульфата натрия.

❗ Сразу после завершения опытов растворы с осадками серы выливайте в банку в вытяжном шкафу и тщательно промывайте стаканы.

Приготовьте раствор тиосульфата натрия минимальной концентрации (табл. 7.1), смешав соответствующие объемы 0,3 М раствора тиосульфата натрия и воды. Общий объем раствора тиосульфата должен составлять 40 мл. В другой стакан налейте 10 мл 0,25 М серной кислоты. Объемы реагентов измеряйте как можно точнее.

Слейте одновременно приготовленные растворы тиосульфата натрия и серной кислоты в отдельный стакан (рис. 7.1). Отметьте время появления опалесценции (τ). Появление опалесценции удобно наблюдать, подложив под стакан лист белой бумаги с нарисованным крестиком. Отмечайте время в тот момент, когда крестик перестает быть виден из-за появления опалесцирующего белого осадка серы.

Приготовьте остальные пять растворов тиосульфата натрия (табл. 7.1) и проведите с ними подобные опыты. Полученные результаты занесите в таблицу 7.1. В этой таблице $c_0(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$ —

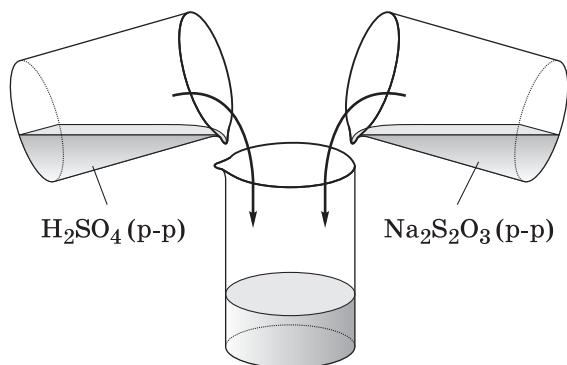


Рис. 7.1. Сливание растворов для определения скорости взаимодействия тиосульфата натрия с серной кислотой

начальная концентрация тиосульфата натрия в растворе, образовавшемся после смешивания реагентов.

Таблица 7.1. Зависимость скорости реакции от концентрации тиосульфата натрия

Номер опыта	Объем, мл			$V_{\text{общ.}}, \text{ мл}$	$c_0(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3),$ моль/л	$\lg c_0$	$\tau, \text{ с}$	$1/\tau, \text{ с}^{-1}$	$\lg(1/\tau)$
	Раствор $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$		Раствор 0,25 М H_2SO_4						
	0,3 М $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	вода							
1	10	30	10	50					
2	15	25	10	50					
3	20	20	10	50					
4	25	15	10	50					
5	30	10	10	50					
6	40	—	10	50					
Порядок реакции									

На основании полученных экспериментальных данных постройте график зависимости $\lg(1/\tau)$ от $\lg c_0(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$. Определите по графику порядок реакции по тиосульфату натрия.

Схема расчета

Учитывая, что скорость реакции $v \approx 1/\tau$ (τ — время появления опалесценции), получим:

$$1/\tau = kc_0(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)^n \quad (7.1)$$

Здесь k — константа скорости реакции; $c_0(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$ — начальная концентрация тиосульфата натрия; n — порядок реакции по тиосульфату натрия.

После логарифмирования уравнение (7.1) примет вид:

$$\lg(1/\tau) = \lg k + n \lg c_0(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) \quad (7.2)$$

Порядок реакции n равен тангенсу угла наклона на графике зависимости $\lg(1/\tau)$ от $\lg c_0(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$.

- Что такое порядок реакции?
- Что такое молекулярность реакции?
- Как связаны между собой порядок и молекулярность реакций для химических реакций?
- Как можно объяснить полученное значение порядка химической реакции?

7.2. Влияние температуры на скорость реакции тиосульфата натрия с серной кислотой

В этом опыте начальные концентрация серной кислоты и тиосульфата натрия поддерживаются постоянными. Изменяется только температура.

Приготовьте 40 мл раствора тиосульфата натрия такой концентрации, чтобы выпадение серы после смешивания с 0,25 М раствором серной кислоты происходило не ранее, чем через минуту (см. разд. 7.1).

С помощью мерных пипеток отберите в одну пробирку 1 мл раствора кислоты, а в другую 4 мл раствора тиосульфата натрия. Пробирки с растворами поместите в химический стакан с водой, установленный на треножнике с асбестовой сеткой (рис. 7.2). Закрепите в лапках штатива пустую пробирку и термометр. Растворы в пробирках выдержите в стакане с водой примерно 5 мин для термостатирования, затем слейте одновременно в пустую пробирку. Определите время появления опалесценции раствора (τ) для данной температуры, убрав в сторону горелку и поместив листок белой бумаги с нарисованным крестиком за стаканом с водой.

Проведите серию экспериментов при более высоких температурах с шагом 5–10 °С. Для получения корректных результатов вначале подогрейте воду в стакане примерно на 5–10 °С, затем уберите нагрев и через 3–5 мин слейте растворы. Температуру в водяной бане повышайте, пока время появления опалесценции не уменьшится до 3–5 с. Затем проведите опыты при понижении

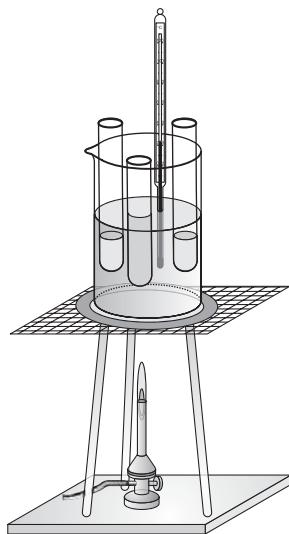


Рис. 7.2. Определение зависимости скорости реакции тиосульфата натрия с серной кислотой от температуры

температуры с таким же шагом. Для снижения температуры добавляйте в стакан холодную воду или небольшие кусочки льда. Избыток воды удаляйте грушей с большой пипеткой. Всего рекомендуется провести 6–7 опытов при разных температурах. Полученные данные занесите в таблицу 7.2.

Таблица 7.2. Влияние температуры на скорость реакции тиосульфата натрия с серной кислотой

Номер опыта	Температура раствора		$10^3/T, \text{ K}^{-1}$	$\tau, \text{ c}$	$1/\tau, \text{ c}^{-1}$	$\ln(1/\tau)$
	$^{\circ}\text{C}$	K				
1	10					
2	15					
...						
Энергия активации $E_{\text{акт}}$, кДж/моль						

Постройте график зависимости $\ln(1/\tau)$ от $10^3/T$. Рассчитайте по графику энергию активации $E_{\text{акт}}$.

Схема расчета

Учитывая, что скорость реакции $v \sim 1/\tau$ (τ — время появления опалесценции), получим:

$$1/\tau = kc_0(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)^n \quad (7.3)$$

В формуле (7.3) k — константа скорости реакции; $c_0(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$ — начальная концентрация тиосульфата натрия; n — порядок реакции по тиосульфату натрия.

Температурная зависимость константы скорости реакции описывается уравнением Аррениуса:

$$k = A \exp\{-E_{\text{акт}}/(RT)\} \quad (7.4)$$

Здесь $E_{\text{акт}}$ — энергия активации; A — предэкспоненциальный множитель; R — универсальная газовая постоянная; T — температура, К.

Принимая во внимание уравнение (7.4), а также то, что по условиям проведения опытов $c_0(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)^n = \text{const}$, прологарифмируем уравнение (7.3) и получим:

$$\ln(1/\tau) = -E_{\text{акт}}/(RT) + B, \text{ где } B = \ln A + n \ln c_0(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) \quad (7.5)$$

В этом уравнении множитель $-E_{\text{акт}}/R$ равен тангенсу угла наклона на графике зависимости $\ln(1/\tau)$ от $1/T$.

- Почему изменяется скорость химической реакции при изменении температуры?

- Дайте определение энергии активации.
- Что такое активированный комплекс?

7.3. Влияние катализатора на скорость разложения пероксида водорода

Соберите эвдиометр с бюретками емкостью 50–100 мл (рис. 7.3). К крану 4 эвдиометра через резиновую трубку подсоедините коническую колбу 6. Заполните бюретки 1 и 2 водой и проверьте прибор на герметичность (см. разд. 5.2).

Налейте 8 мл 0,5 М раствора пероксида водорода и 10 мл воды в колбу 6, затем добавьте 5 мл 0,1 М раствора дихромата калия и 10 мл воды. Колбу тотчас закройте пробкой с газоотводной трубкой и начните отсчет времени.

Каждые 30 с отмечайте уровень воды в бюретке 2. Для получения достоверных данных перед каждым измерением выровняйте уровни воды в левом и правом коленах эвдиометра, опуская бюретку 1. Результаты занесите в таблицу 7.3. Отметьте окраску раствора в колбе 6 в процессе реакции и после ее завершения. Всего проведите 15–20 отсчетов.

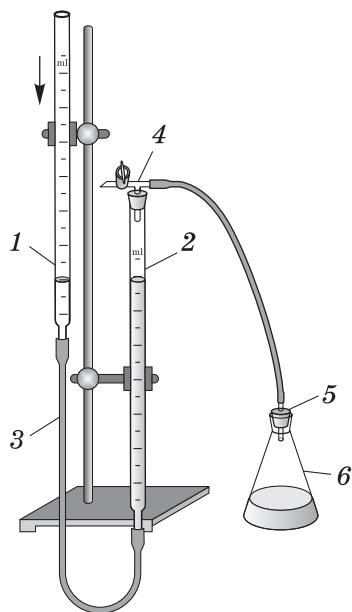


Рис. 7.3. Прибор для определения объема газа (эвдиометр):

1, 2 — бюретки; 3 — резиновая трубка; 4 — тройник с краном; 5 — пробка с трубкой; 6 — колба коническая с раствором

Таблица 7.3. Разложение пероксида водорода в присутствии дихромата калия

Время, τ , с	Деления бюретки, мл	Объем кислорода, V_{τ} , мл	Скорость выделения кислорода $\Delta V/\Delta\tau$, мл/с

Постройте графики зависимости объема выделившегося кислорода V_{τ} и скорости выделения кислорода ($\Delta V/\Delta\tau$) от времени проведения опыта τ .

Объясните наблюдаемые явления. На основании полученных данных сделайте предположение о возможной схеме каталитического разложения пероксида водорода в присутствии дихромата калия в качестве катализатора.

- Как зависит скорость выделения кислорода от времени?
- Напишите уравнения предполагаемых реакций.

7.4. Влияние степени смешивания на скорость гетерогенной химической реакции

Положите в сухую фарфоровую ступку немного порошка хлорида свинца и несколько кристаллов иодида калия. Перемешайте эти вещества, а затем разотрите их пестиком. Прилейте к полученной смеси несколько капель воды. Объясните наблюдаемые явления. Напишите уравнение реакции.

ЧАСТЬ III

ХИМИЯ s -ЭЛЕМЕНТОВ

8. ВОДОРОД

8.1. Получение водорода и проверка его на чистоту

! Работа с водородом требует большой осторожности. Водород горюч, с кислородом или воздухом образует взрывчатую смесь. Все опыты с водородом проводите только в защитных очках или маске под наблюдением преподавателя!

1. Поместите в пробирку 5–8 кусочков гранулированного цинка, прилейте 5 мл 20%-го раствора соляной кислоты и закройте пробкой со стеклянной трубкой с оттянутым концом (рис. 8.1, а). Закрепите пробирку в лапке штатива.

Для проверки водорода на чистоту приготовьте две небольшие пробирки. Наденьте на трубку 2 сухую пробирку 3, через 20–30 с медленно снимите ее и тотчас закройте отверстие пробирки большим пальцем. Поставьте на ее место вторую пробирку 4. Поднесите заполненную водородом пробирку 3, перевернутую вверх дном, к пламени горелки (рис. 8.1, б) и откройте ее в непосредственной близости от пламени (*горелку держите вдали от прибора с водородом!*). Если водород чистый, он загорается со слабым глухим звуком, а если загрязнен кислородом, взрывается или сгорает со звонким свистящим звуком. Проверку чистоты выделяющегося водорода проводите со сменой пробирок

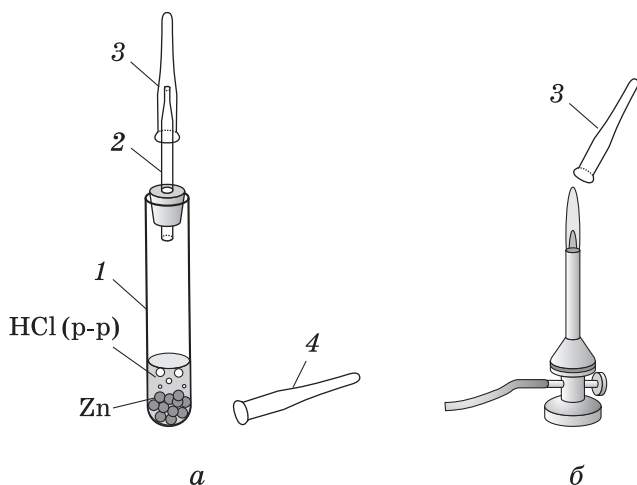


Рис. 8.1. Получение водорода и проверка его на чистоту:

а — заполнение пробирки водородом; б — проверка водорода на чистоту.
1 — пробирка; 2 — трубка; 3, 4 — пробирки для проверки водорода на чистоту

до тех пор, пока собранный газ не будет загораться без свистящего звука (*минимум две пробы!*).

Подожгите выделяющийся водород. Он должен гореть ровным пламенем. Подержите над пламенем перевернутую холодную стеклянную воронку. При уменьшении пламени водорода прервите горение. Для этого накройте трубку 2 перевернутой пробиркой (рис. 8.1, а).

- ! Будьте внимательны! При горении водорода капилляр трубки 2 может заплавиться, что приведет к взрыву!

Напишите уравнения реакций.

- С какой целью для проверки водорода на чистоту попеременно используют две пробирки?

2. Поместите в пробирку 5–8 кусочков гранулированного цинка и налейте в нее 5 мл 20%-го раствора серной кислоты. Прилейте в пробирку раствор сульфата меди.

Отметьте изменение интенсивности выделения водорода в каждой из пробирок. После завершения эксперимента использованный цинк промойте и сдайте лаборанту.

- Объясните влияние добавки сульфата меди на скорость выделения водорода.
- Почему для получения водорода не используют серную кислоту с концентрацией выше 20%?

3. Поместите в пробирку, вертикально закрепленную в лапке штатива (рис. 8.1, а), несколько кусочков алюминия или алюминиевой проволоки, прилейте 2–3 мл 20%-го раствора гидроксида натрия и закройте пробкой со стеклянной оттянутой трубкой (*не наклоняйтесь над пробиркой!*). Закрепите пробирку в лапке штатива. Если реакция долго не начинается или идет слишком медленно, подогрейте пробирку в стакане с теплой водой. Если реакция идет слишком бурно, охладите пробирку в стакане с холодной водой. Проверьте полученный водород на чистоту.

- ! Горелку держите вдали от прибора с водородом. Водород не поджигайте!

8.2. Восстановление водородом оксидов металлов

- ! Наденьте защитные очки или маску. Опыт проводите под наблюдением преподавателя!

Исходные вещества: оксиды меди, свинца, висмута, кадмия.

Соберите прибор (рис. 8.2), состоящий из колбы Вюрца 1 с длинной воронкой 2, конец которой должен находиться ниже уровня кислоты в колбе, и реакционной трубки 4, установленной с небольшим наклоном вниз в сторону выхода газа из прибора. Между колбой Вюрца и реакционной трубкой установите обратным ходом пустую промывалку 3. Колбу Вюрца заполните примерно на четверть гранулированным цинком. В расширенную часть реакционной трубки поместите ~0,3 г оксида металла. Реакционную трубку закройте пробкой с Г-образной стеклянной трубкой 5 с оттянутым носиком. Внутри трубки поместите полоску медной фольги, свернутую спиралью. Проверьте надежность всех соединений.

Налейте 20%-ю серную кислоту в колбу Вюрца 1 через воронку 2. Уровень кислоты в колбе должен быть выше выхода из воронки 2. Для ускорения реакции добавьте в раствор немного раствора сульфата меди через воронку 2.

Проверьте прибор на герметичность. Для этого закройте пальцем выход из трубки 5. Прибор герметичен, если уровень кислоты в воронке 2 повышается. Испытайте водород на отсутствие примеси кислорода. Водород считается чистым, если две пробы подряд, собранные в перевернутые пробирки 6, при поджигании сгорают со слабым глухим звуком.

❗ Для поджигания проб используйте горелку, расположенную вдали от прибора!

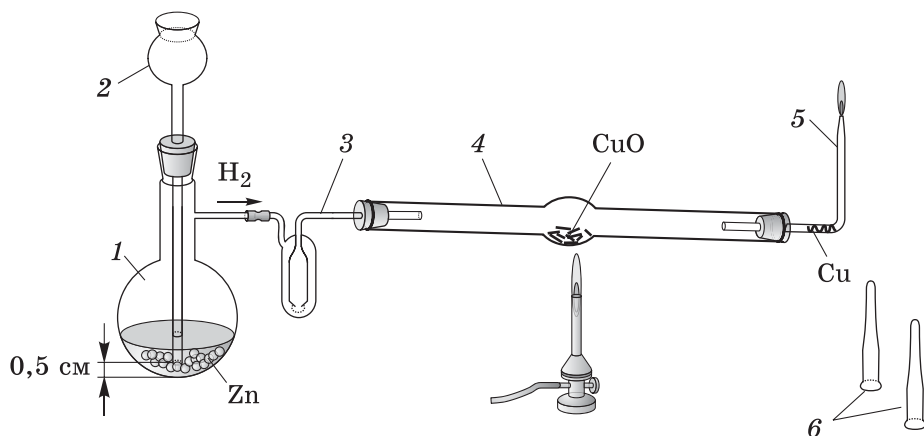


Рис. 8.2. Прибор для восстановления оксидов металлов в токе водорода:

1 — колба Вюрца; 2 — воронка; 3 — предохранительная (обратная) промывалка; 4 — реакционная трубка; 5 — Г-образная стеклянная трубка с оттянутым носиком; 6 — пробирки для проверки водорода на чистоту

Убедившись в чистоте выделяющегося водорода, подожгите его на выходе из Г-образной трубки 5 (*под наблюдением преподавателя!*).

При непрерывном пропускании водорода осторожно прогрейте среднюю часть реакционной трубки, а затем сильно нагрейте ту ее часть, где находится оксид металла. Следите за тем, чтобы пламя горящего водорода сильно не уменьшалось, для этого в колбу Вюрца 1 через воронку 2 своевременно по мере расходования добавляйте кислоту небольшими порциями.

После завершения восстановления оксида отключите газовую горелку и охладите реакционную трубку до комнатной температуры в токе водорода.

Погасите пламя горящего водорода, накрыв трубку 5 небольшой перевернутой пробиркой. Затем разберите прибор (*огонь вблизи не зажигайте!*). Оставшийся после реакции цинк промойте водой и сдайте лаборанту.

Напишите уравнения реакций.

- С какой целью в газоотводную трубку помещается медная спираль?
- Как можно установить окончание восстановления оксида металла?
- Чем может быть загрязнен водород? Как можно идентифицировать примеси в нем?
- Как можно очистить водород?

9. ЩЕЛОЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

9.1. Свойства щелочных металлов

Взаимодействие щелочных металлов с водой

! Работа проводится в вытяжном шкафу, в очках или защитной маске!

Наполните кристаллизатор водой. Сделайте маленькую (~2 × 2 см) коробочку из фильтровальной бумаги и поместите в нее кусочек лития размером чуть меньше горошины. Перед экспериментом поверхность лития следует очистить скальпелем на фильтровальной бумаге. Осторожно поместите коробочку с литием в кристаллизатор с водой.

Возьмите пробу воды из кристаллизатора и определите ее реакцию на фенолфталеин или универсальный индикатор.

Проведите аналогичные опыты с натрием и калием. Отметьте наблюдаемые явления. Напишите уравнения реакций.

- Как изменяются величины $E^{\circ}(M_{(p-p)}^{+}/M_{(т)})$ для щелочных элементов ($M = \text{Li—Cs}$)? Объясните эту закономерность.
- Сопоставьте химическую активность изученных щелочных металлов. От чего она зависит?

9.2. Соли щелочных элементов

Гидрокарбонат натрия

Приготовьте (в вытяжном шкафу!) насыщенный при комнатной температуре раствор хлорида натрия в 50 мл 10%-го раствора аммиака. Раствор профильтруйте и перелейте в плоскодонную колбу 1 (рис. 9.1).

В колбу вставьте стеклянную трубку 2, подсоединенную к баллону с углекислым газом, трубка должна доходить почти до дна колбы. Для контроля температуры раствора установите термометр 3. Трубку и термометр зафиксируйте с помощью ватного тампона.

Пропустите через раствор ток углекислого газа. О завершении реакции можно судить по прекращению разогревания реакционной смеси и окончанию выпадения осадка. Полученный гидрокарбонат натрия отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, промойте минимальным количеством воды, охлажденной в бане со льдом, высушите при комнатной температуре на воздухе и взвесьте.

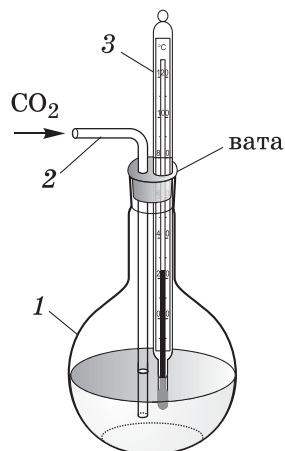


Рис. 9.1. Прибор для получения гидрокарбоната натрия:
1 — колба плоскодонная; 2 — стеклянная трубка;
3 — термометр

Напишите уравнение реакции.

Небольшое количество гидрокарбоната натрия растворите в воде. Определите рН раствора с помощью универсальной индикаторной бумаги или рН-метра.

Проверьте полученное вещество на присутствие ионов аммония и хлорид-ионов.

- Объясните последовательность процессов, происходящих при пропускании углекислого газа через аммиачный раствор хлорида натрия.
- Какие примеси могут содержаться в полученном гидрокарбонате натрия?
- Как и в какой среде проводят качественное определение хлорид-ионов?

Карбонат натрия (кальцинированная сода)

В фарфоровый тигель поместите около 1 г полученного ранее гидрокарбоната натрия и прокалите на газовой горелке. По разности масс (взвешивайте остывший тигель с точностью до $\pm 0,01$ г) определите содержание гидрокарбоната натрия в исходном веществе. Напишите уравнение реакции.

Вещество после прокаливания растворите в воде и определите рН раствора с помощью универсальной индикаторной бумаги или рН-метра.

Напишите уравнения реакций и объясните наблюдаемые явления.

- Рассчитайте рН децимолярных растворов карбоната и гидрокарбоната натрия (см. табл. П.8 в Приложении).

- Напишите формулы веществ, известных под названиями: сода кристаллическая, сода кальцинированная, сода двууглекислая, сода каустическая.
- Ознакомьтесь с растворимостью в воде карбонатов щелочных элементов.

Малорастворимые соли щелочных элементов

1. Налейте в три пробирки по 1–2 мл насыщенного раствора хлорида лития и прилейте в первую пробирку насыщенный раствор карбоната натрия, во вторую — раствор ортофосфата натрия, а в третью — дигидроортофосфата натрия. Если осадок сразу не выпадает, то для инициирования кристаллизации потрите стеклянной палочкой внутреннюю стенку пробирки.

2. К 1–2 мл насыщенного раствора хлорида лития в пробирке прилейте по каплям рассчитанное по уравнению реакции количество гидрофторида калия.

3. Налейте в три пробирки по 1–2 мл насыщенного раствора хлорида калия. В первую пробирку прилейте несколько капель раствора гидротартрата натрия, во вторую — перхлората натрия, в третью — гексанитрокобальтата(+3) натрия.

Напишите уравнения реакций и объясните наблюдаемые явления.

- Какие еще малорастворимые соли щелочных металлов вам известны?

Окрашивание пламени солями щелочных металлов

! Опыт по изучению окрашивания пламени выполняйте в вытяжном шкафу!

Обработайте нихромовую проволоку (петельку) концентрированной соляной кислотой и прокалите в пламени горелки до исчезновения желтого окрашивания пламени. Поместите в петельку крупинки или каплю раствора хлорида лития, рубидия и цезия. Внесите проволоку в пламя горелки. Окрашивание пламени особенно хорошо заметно, если наблюдать его на фоне белого экрана.

Повторите опыт с хлоридами натрия, калия. Обрабатывайте нихромовую проволоку соляной кислотой каждый раз перед сменой соли. Соли натрия изучайте последними.

Соли лития окрашивают пламя в малиновый цвет, натрия — в желтый, калия — в фиолетовый, рубидия и цезия — в розово-фиолетовый.

9.3. Синтезы по теме «Щелочные элементы»

9.3.1. Гидроксид натрия (каустификация соды)

Получение гидроксида натрия. Растворите 7,5 г безводного карбоната натрия в 50 мл воды. Определите плотность полученного раствора с помощью ареометра (или измерьте объем раствора) и рассчитайте его молярную концентрацию $c_0 = [\text{CO}_3^{2-}]$. Перелейте приготовленный раствор в плоскодонную колбу 3 (рис. 9.2) и поместите ее на магнитную мешалку 1.

При непрерывном перемешивании внесите в колбу небольшими порциями измельченную гашеную известь (*в защитных очках!*), взятую с 20%-м избытком. Продолжайте перемешивание смеси при нагревании 30–40 мин.

После завершения опыта выключите мешалку и дождитесь оседания осадка. Раствор отфильтруйте. Проверьте наличие в полученном отфильтрованном растворе некоторого количества карбонат-ионов. Для этого к пробе раствора в пробирке добавьте немного соляной кислоты.

Напишите уравнения реакций и объясните наблюдаемые явления.

Ознакомьтесь с величинами ПР карбоната кальция и гидроксида кальция и, используя значение c_0 , рассчитайте максимально возможную (равновесную) концентрацию $[\text{OH}^-]$.

Определение концентрации щелочи в смеси с карбонатом методом титрования 0,1 н. соляной кислотой с двумя индикаторами. Для определения концентрации полученной щелочи проведите ее титрование раствором соляной кислоты с точно известной концентрацией (см. разд. 6.6), используя фенолфталеин (рН изменения окраски 8,2–9,8) и метиловый оранжевый (рН изменения окраски 3,1–4,4). Титрование необходимо проводить

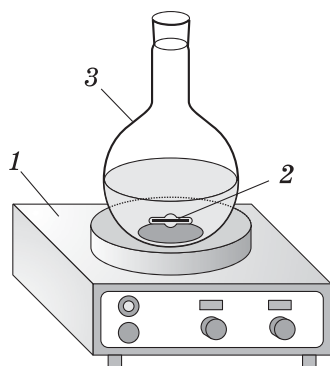


Рис. 9.2. Прибор для получения гидроксида натрия:

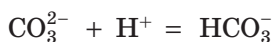
1 — магнитная мешалка; 2 — перемешивающий стержень; 3 — колба плоскодонная

не менее трех раз (приготовьте три одинаковые конические колбы для титрования объемом 100–150 мл).

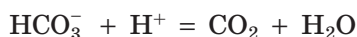
Налейте в коническую колбу для титрования 20 мл воды. С помощью пипетки Мора отберите из отфильтрованного щелочного раствора пробу 1 мл и количественно перенесите ее в колбу, а затем добавьте 1–2 капли фенолфталеина. Капли щелочного раствора, попавшие на стенки колбы, смойте дистиллированной водой.

Проведите титрование кислотой до исчезновения малиновой окраски от прибавления одной капли кислоты. Запишите объем кислоты, пошедшей на титрование (V_1). Затем добавьте к титруемому раствору 1–2 капли индикатора метилового оранжевого и продолжите титрование кислотой до перехода окраски раствора от желтой к красной. Запишите общий объем кислоты, пошедшей на титрование (V_2).

На первом этапе титрования (по фенолфталеину) протекают реакции:



На втором этапе титрования (по метиловому оранжевому):



Учитывая, что на титрование HCO_3^- израсходовано ($V_2 - V_1$) кислоты, а $[\text{CO}_3^{2-}] = [\text{HCO}_3^-]$, определите концентрацию $[\text{OH}^-]$ в полученном растворе по объему кислоты, пошедшему на титрование щелочи.

Сопоставьте экспериментально определенную концентрацию щелочи с расчетной равновесной концентрацией $[\text{OH}^-]$. Удалось ли вам достичь равновесия при получении гидроксида натрия?

- Почему нельзя определять концентрацию полученной щелочи по плотности раствора, используя таблицу П.12 в Приложении?

9.3.2. Пероксид натрия

Соберите прибор, изображенный на рисунке 9.3. Налейте в промывалку 1 концентрированную серную кислоту, а промывалку 2 оставьте пустой. Поместите 0,5–1,0 г очищенного металлического натрия в фарфоровую лодочку 4 и внесите ее в ре-

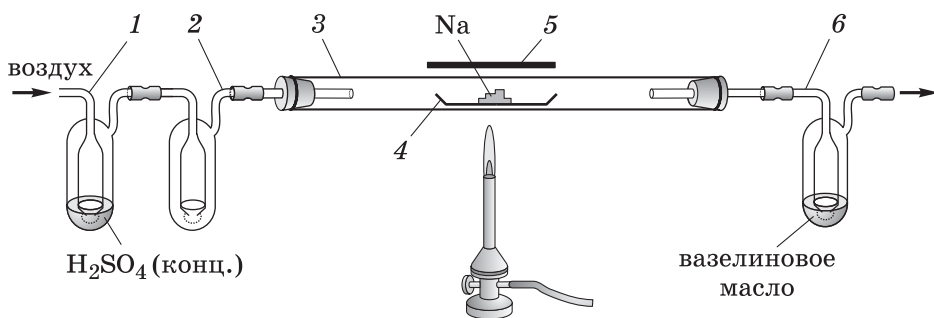


Рис. 9.3. Прибор для получения пероксида натрия:

1 — промывалка с концентрированной серной кислотой; 2 — предохранительная (обратная) промывалка; 3 — кварцевая (стеклянная) трубка; 4 — фарфоровая лодочка; 5 — асбестовый экран; 6 — промывалка с вазелиновым маслом

акционную трубку 3 из кварцевого или тугоплавкого стекла. Накройте трубку сверху листом асбеста 5.

Пропустите над натрием осушенный воздух (или кислород из кислородной подушки). Нагрейте натрий в реакционной трубке 3 пламенем газовой горелки до воспламенения. После возгорания натрия отрегулируйте скорость его горения, изменяя скорость тока воздуха (кислорода) либо изменяя интенсивность нагревания.

Воздух (кислород) пропускайте через прибор до тех пор, пока весь натрий не прореагирует. После охлаждения реактора 3 быстро извлеките лодочку из прибора, перенесите полученное вещество в бюкс, определите его массу.

Проведите идентификацию полученного вещества. Для этого растворите небольшое количество полученного пероксида натрия в воде. Испытайте отношение этого раствора к подкисленным растворам перманганата калия и иодида калия. Напишите уравнения реакций.

9.3.3. Бромид натрия

! Бром опасен! Работать с бромом можно только в вытяжном шкафу, в перчатках и защитных очках!

Поместите в коническую колбу 2 г железных опилок и прилейте 16 мл воды. Колбу охладите в бане со льдом и водой и постепенно, по каплям, прибавьте из капельной воронки или мерной пипетки 1,5 мл брома, затем перемешайте стеклянной палочкой.

После завершения реакции полученный раствор профильтруйте через гладкий бумажный фильтр, в стакан с фильтратом добавьте из мерной пипетки еще 0,5 мл брома.

Нагрейте содержимое стакана до кипения на треножнике с асбестовой сеткой и постепенно при перемешивании стеклянной палочкой прибавьте раствор 4,5 г декагидрата карбоната натрия в 10 мл воды. Раствор над выпавшим осадком должен иметь слабощелочную реакцию. Если это условие не выполняется — добавьте еще немного раствора карбоната натрия до щелочной реакции раствора и продолжите нагревание реакционной смеси еще несколько минут.

После охлаждения раствора до комнатной температуры отделите осадок путем фильтрования через бумажный фильтр и промойте на фильтре небольшим количеством горячей воды. Соберите фильтрат в фарфоровую чашку и упарьте на водяной бане до начала кристаллизации, затем охладите в бане со льдом. Выпавшие кристаллы отделите от раствора фильтрованием при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, высушите в сушильном шкафу при 60 °С и взвесьте.

9.4. Практикум повышенной сложности по теме «Щелочные элементы»

9.4.1. Пероксид лития

Получение гидрата пероксида лития. Соберите прибор, изображенный на рисунке 9.4.

! Наденьте защитные очки и перчатки! Гидроксид лития измельчайте и пересыпайте только в вытяжном шкафу!

Хлоркальциевую трубку 4 заполните натронной известью или гранулированным гидроксидом натрия (калия).

Поместите 1 г моногидрата гидроксида лития в колбу 1 и прилейте 50 мл этилового спирта. В капельную воронку 2 налейте 20 мл 30%-го раствора пероксида водорода. Колбу закройте теплоизолирующим экраном из асбестовой или стеклянной ткани 5.

Пустите воду в холодильник. При непрерывном перемешивании нагрейте реакционную смесь до слабого кипения. Добавьте по каплям пероксид водорода и продолжайте перемешивание при слабом кипении в течение 1 ч.

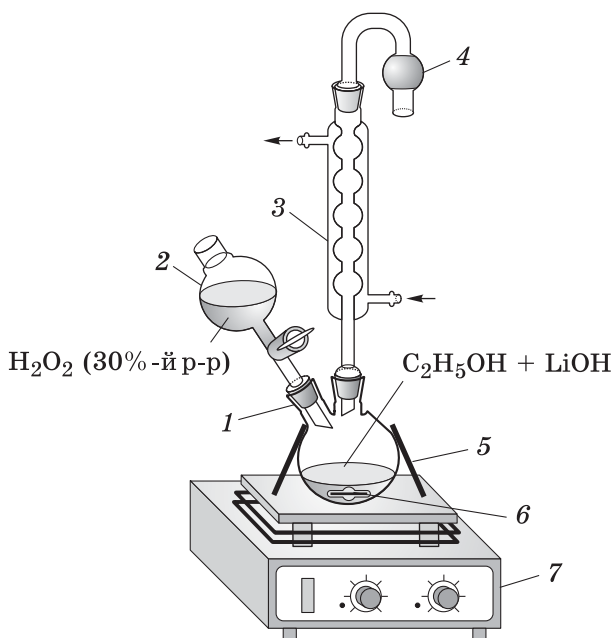


Рис. 9.4. Прибор для получения пероксида лития:

1 — колба двугорлая; 2 — капельная воронка; 3 — шариковый холодильник; 4 — хлоркальциевая трубка с натронной известью или гранулированной твердой щелочью; 5 — теплоизолирующий экран; 6 — перемешивающий стержень; 7 — магнитная мешалка с нагревателем

После охлаждения до комнатной температуры поместите колбу в баню со льдом и водой.

Осадок вместе с раствором перенесите на воронку со стеклянным фильтрующим дном и отфильтруйте при пониженном давлении.

Полученное вещество высушите на фильтровальной бумаге, затем поместите в предварительно взвешенную пробирку и взвесьте.

Соберите прибор, изображенный на рисунке 9.5. Полученный гидрат пероксида лития перенесите в пробирку 3, взвесьте и поместите в реактор 2. Смажьте шлифы тонким слоем вакуумной смазки. Реактор поместите в водяную баню 1.

Включите водоструйный насос и откачайте воздух из прибора (*наденьте защитные очки!*). Разогрейте воду в водяной бане до слабого кипения и выдержите реактор с веществом в кипящей воде 30 мин при непрерывной откачке воздуха.

После охлаждения реактора до комнатной температуры выключите водоструйный насос, извлеките пробирку с веществом и взвесьте.

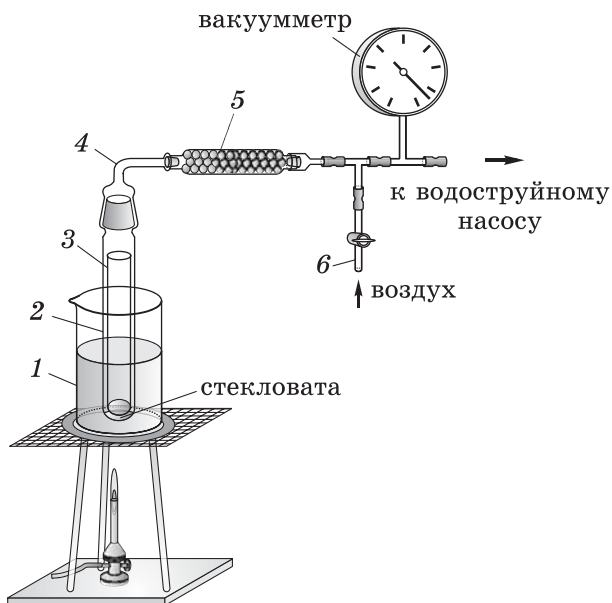


Рис. 9.5. Прибор для дегидратации гидрата пероксида лития:
1 — водяная баня; 2 — реактор; 3 — пробирка; 4 — переходник; 5 — колонка с осушителем; 6 — кран для запуска воздуха

Рассчитайте выход пероксида лития, учитывая количество гидратационной воды в гидрате пероксида лития.

10. БЕРИЛЛИЙ, МАГНИЙ, КАЛЬЦИЙ, СТРОНЦИЙ, БАРИЙ

10.1. Соединения бериллия

Получение и свойства гидроксида бериллия

❗ Соединения бериллия ядовиты! После работы с ними необходимо тщательно вымыть руки. Все остатки соединений бериллия сдайте лаборанту.

К 4–5 мл 3%-го раствора сульфата бериллия прилейте по каплям 10%-й раствор аммиака до полного выпадения осадка. Испытайте отношение полученного осадка к 10%-м растворам серной кислоты и гидроксида натрия. Прокипятите щелочной раствор, полученный растворением осадка в гидроксиде натрия. Напишите уравнения реакций.

- Чему равно координационное число бериллия в гидроксобериллат-ионе?
- К какому типу гидроксидов относится гидроксид бериллия?

Основной карбонат бериллия

К 4–5 мл сульфата бериллия прилейте по каплям раствор карбоната аммония. Каков состав выпавшего осадка? Какое соединение образуется при растворении этого осадка в избытке карбоната аммония? Прокипятите полученный прозрачный раствор. Напишите уравнения реакций.

Проведите аналогичный эксперимент с раствором карбоната натрия.

10.2. Магний, соединения магния

Свойства магния

1. Зажмите тигельными щипцами небольшую ленту магния и подожгите ее над фарфоровой чашкой (*наденьте защитные очки!*). К полученному в результате горения магния веществу прилейте 2–3 капли воды и определите pH раствора.

2. Налейте в две пробирки по 2–3 мл воды и поместите в каждую из них по кусочку магния, в одну из пробирок добавьте ~0,5 г хлорида аммония. Растворы в пробирках нагрейте до кипения.

Напишите уравнения реакций и объясните наблюдаемые явления.

- С какими газами, входящими в состав воздуха, вступает во взаимодействие магний?
- Почему в присутствии хлорида аммония взаимодействие магния с водой идет более активно?

Гидроксид магния

Получите в трех пробирках осадки гидроксида магния действием раствора щелочи на раствор хлорида магния. Испытайте действие 10%-х растворов соляной кислоты, щелочи и хлорида аммония на этот осадок.

- Можно ли полностью осадить гидроксид магния, если вместо гидроксида натрия использовать раствор аммиака?
- К какому типу гидроксидов относится гидроксид магния?

Карбонаты магния

1. Прилейте к 2–3 мл раствора хлорида магния по каплям раствор карбоната натрия до выпадения осадка. Отделите осадок от маточного раствора фильтрованием на бумажном фильтре. Раствор сохраните в отдельной пробирке.

Осадок разделите на две части и испытайте его отношение к:
а) 10%-му раствору соляной кислоты; б) насыщенному раствору карбоната аммония.

Помещенный в отдельную пробирку раствор нагрейте до кипения, затем охладите. Добавьте к выпавшему осадку немного 10%-го раствора соляной кислоты.

2. Налейте в пробирку 1–2 мл раствора хлорида магния и добавьте по каплям раствор карбоната аммония, вначале немного, затем избыток.

Напишите уравнения реакций и объясните наблюдаемые явления.

- Какие реакции протекают в растворах солей бериллия и магния при действии на них: а) карбоната аммония (недостаток и избыток); б) карбоната натрия (недостаток и избыток); в) гидрокарбоната натрия?

Магнийаммонийфосфат

Налейте в пробирку 1–2 мл раствора хлорида магния и добавьте раствор аммиака до выпадения осадка. Затем прибавьте по каплям раствор хлорида аммония до полного растворения

осадка. Прилейте к раствору несколько капель раствора ортофосфата натрия. Испытайте действие соляной кислоты на магнийаммонийфосфат.

Напишите уравнения реакций и объясните протекающие процессы образования и растворения осадков.

- Какие соединения образуются при термическом разложении магнийаммонийфосфата?

10.3. Соединения кальция, стронция, бария

Малорастворимые соли кальция, стронция, бария

Налейте в два ряда пробирок по 1–2 мл растворов хлоридов кальция, стронция, бария. Добавьте в каждую из пробирок одного ряда равные объемы растворов фторида натрия, другого ряда — сульфата натрия. Испытайте полученные осадки к действию 1 М соляной кислоты при обычных условиях и при нагревании.

- Как меняется растворимость фторидов и сульфатов в ряду кальций—стронций—барий (см. табл. П.7 в Приложении)? Какие еще малорастворимые соли есть у этих элементов?
- Как и почему меняется термическая устойчивость карбонатов (нитратов, сульфатов) в ряду кальций—стронций—барий?
- Какие получатся продукты, если нагревать гипс (дигидрат сульфата кальция), постепенно повышая температуру?

Окрашивание пламени солями щелочноземельных металлов

Обработайте нихромовую проволоку (петельку) концентрированной соляной кислотой и прокалите в пламени горелки до исчезновения желтого окрашивания пламени. Поместите в петельку крупинки или каплю раствора хлоридов кальция, стронция, бария. Внесите проволоку в пламя горелки (*в вытяжном шкафу!*). Окрашивание пламени особенно хорошо заметно на фоне белого экрана. Обработывайте нихромовую проволоку соляной кислотой каждый раз перед сменой солей.

Соли кальция окрашивают пламя в темно-оранжевый цвет (почти всегда присутствует желтое окрашивание из-за примесей натрия), соли стронция — в темно-красный, бария — в светло-зеленый.

10.4. Синтезы по теме «Бериллий, магний, кальций, стронций, барий»

10.4.1. Оксоацетат бериллия

! Синтез и перекристаллизацию оксоацетата бериллия проводите в вытяжном шкафу!

Получите 1–2 г основного карбоната или гидроксида бериллия. Отфильтруйте осадок на бумажном фильтре, промойте водой и перенесите в фарфоровую чашку. Нагрейте полученное соединение бериллия на кипящей водяной бане. Приливайте к нему по каплям предварительно вымороженную (ледяную) уксусную кислоту (см. разд. 14.9.2) до прекращения выделения газа. Упарьте раствор досуха и обработайте осадок еще раз уксусной кислотой. Охладите чашку до 0 °С. Перекристаллизуйте полученное вещество из хлороформа и отфильтруйте через сухой бумажный фильтр нерастворившееся в хлороформе вещество. Фильтрат перелейте в фарфоровую чашку и оставьте до полного испарения хлороформа.

Небольшое количество кристаллов оксоацетата бериллия поместите в узкую пробирку. Слегка наклоните пробирку отверстием вниз и осторожно нагрейте в пламени горелки.

- Какой состав и строение имеет оксоацетат бериллия?

10.4.2. Пероксид бария

Налейте в стакан 100 мл прокипяченной дистиллированной воды и добавьте 2 г гидроксида бария. Смесь тщательно перемешайте. Нерастворившееся вещество отделите фильтрованием на воронке с бумажным фильтром. Фильтрат охладите до 0 °С в бане со льдом и водой, а затем добавьте к нему 5 мл 30%-го раствора пероксида водорода. Выпавший осадок отделите на воронке Бюхнера, промойте водой и высушите в сушильном шкафу при 50–60 °С. Взвесьте полученное вещество и определите выход (в %).

Докажите, что полученное вещество представляет собой пероксид бария.

10.4.3. Гексагидрат хлорида магния

Налейте в химический стакан 50 мл 20%-го раствора соляной кислоты и добавьте небольшими порциями при перемешивании

рассчитанное количество оксида магния. При необходимости профильтруйте полученный раствор хлорида магния на воронке с бумажным фильтром. стакан с фильтратом поставьте на трехножник с асбестовой сеткой, включите горелку и упарьте раствор до $\frac{2}{3}$ начального объема.

Для получения хлороводорода соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 10.1.

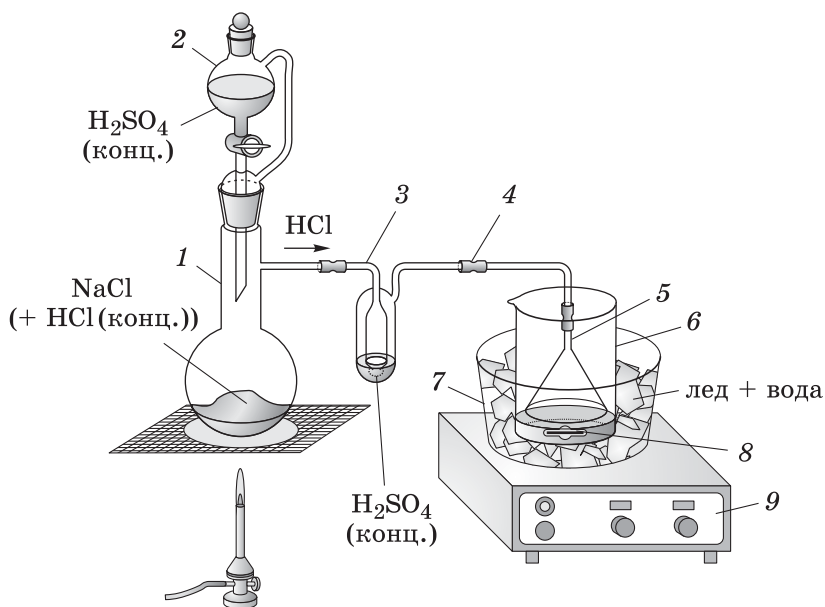


Рис. 10.1. Прибор для насыщения раствора хлороводородом: 1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — промывалка—счетчик пузырьков с концентрированной серной кислотой; 4 — стеклянная трубка; 5 — перевернутая воронка; 6 — стакан; 7 — кристаллизатор со льдом и водой; 8 — перемешивающий стержень; 9 — магнитная мешалка

Стакан 6 с раствором хлорида магния поставьте в баню со льдом и водой. В колбу Вюрца 1 поместите 20 г хлорида натрия и смочите его 2–3 мл концентрированной соляной кислоты. В капельную воронку налейте 20–30 мл концентрированной серной кислоты (но не более $\frac{2}{3}$ объема). Осторожно приоткройте кран капельной воронки 2 и, медленно, по каплям, добавляя серную кислоту в колбу 1, установите равномерный ток хлороводорода.

Выпавшие кристаллы отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, затем высушите на фильтровальной бумаге и взвесьте.

10.4.4. Безводный хлорид магния

Способ 1. Обезвоживание гексагидрата хлорида магния нагреванием с хлоридом аммония

Смесь гексагидрата хлорида магния и хлорида аммония, взятых в массовом отношении 1:2, тщательно разотрите в фарфоровой ступке, поместите во взвешенный фарфоровый тигель, закройте крышкой и прокалите в пламени газовой горелки до прекращения выделения газов. Тигель охладите в эксикаторе до комнатной температуры и взвесьте. Проверьте препарат на наличие ионов аммония.

Докажите, что получен безводный хлорид магния без примеси оксохлоридов.

Способ 2. Обезвоживание гексагидрата хлорида магния в токе хлороводорода

Соберите прибор, изображенный на рисунке 10.2. Кварцевую или стеклянную реакционную трубку 5 установите с небольшим наклоном вправо. Взвесьте 1–2 г гексагидрата хлорида магния в фарфоровой лодочке 6 известной массы ($\pm 0,01$ г) и установите ее в средней части реакционной трубки 5. Заполните реактор газообразным хлороводородом и осторожно нагревайте вещество в лодочке при непрерывном пропуске газа.

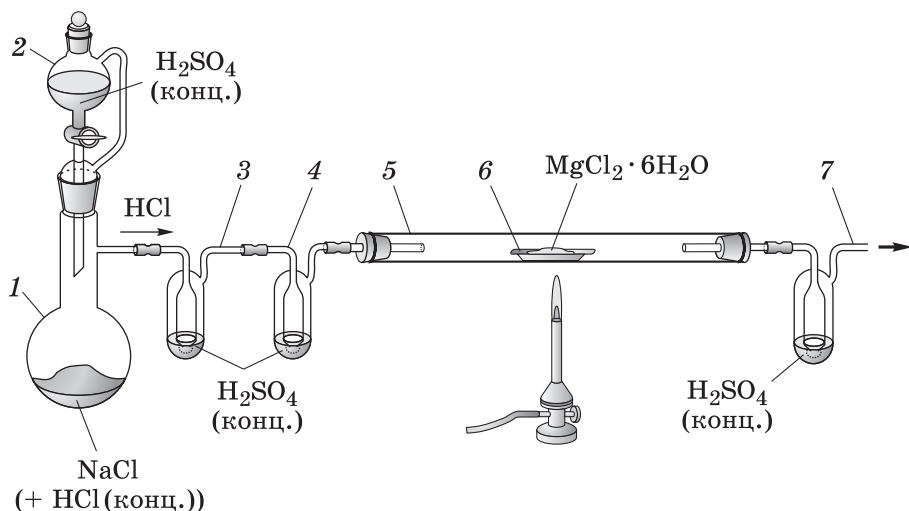


Рис. 10.2. Прибор для обезвоживания гексагидрата хлорида магния в токе хлороводорода:

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3, 4, 7 — промывалки с концентрированной серной кислотой; 5 — кварцевая (стеклянная) трубка; 6 — фарфоровая лодочка

Для получения хлороводорода в колбу Вюрца поместите 20 г хлорида натрия и смочите его 3–5 мл концентрированной соляной кислоты. В капельную воронку налейте 20–30 мл концентрированной серной кислоты (не более $\frac{2}{3}$ объема). Заполните концентрированной серной кислотой промывалки 3, 4 и 7. Осторожно приоткройте кран капельной воронки и, медленно, по каплям, добавляя серную кислоту в колбу Вюрца, добейтесь равномерного тока хлороводорода.

После завершения выделения воды уберите нагрев и охладите вещество в токе хлороводорода, извлеките лодочку из реактора и взвесьте. Перенесите вещество в бюкс. По результатам взвешивания определите его состав.

Способ 3. Обезвоживание гексагидрата хлорида магния кипячением с хлоридом тионила

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 10.3, а. Хлоркальциевую трубку 3 заполните безводным хлористым кальцием.

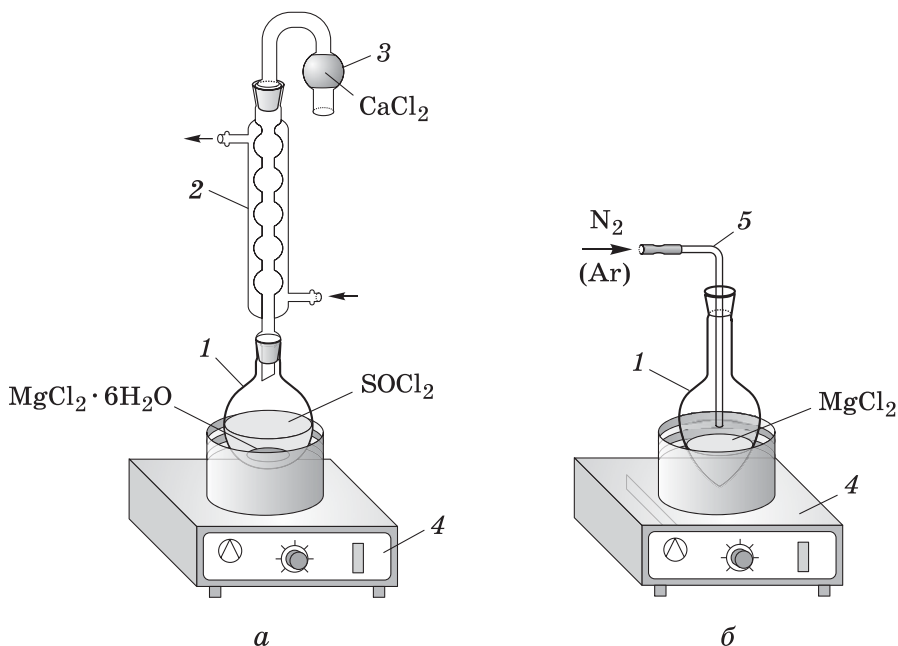


Рис. 10.3. Прибор для обезвоживания гексагидрата хлорида магния кипячением с хлоридом тионила:

а — прибор для кипячения в колбе с обратным холодильником; б — продувка колбы инертным газом.

1 — колба круглодонная; 2 — шариковый холодильник; 3 — хлоркальциевая трубка с безводным хлористым кальцием; 4 — колбонагреватель; 5 — трубка стеклянная

Поместите 1–1,5 г гексагидрата хлорида магния в колбу 1 и добавьте 10 мл хлорида тионила. Включите воду для охлаждения холодильника. Нагрейте хлорид тионила в колбе до кипения и кипятите в течение 1 ч. Не допускайте полного расходования хлорида тионила, в случае необходимости доливайте реагент. После завершения опыта отделите полученное вещество от хлорида тионила, затем продуйте колбу аргоном или азотом из кислородной подушки при легком обогревании для удаления паров (рис. 10.3, б). Полученное сухое вещество перенесите в бюкс и взвесьте. Докажите, что получен безводный хлорид магния без примеси оксохлоридов.

Способ 4. Разложение гексагидрата магнийаммонийхлорида

Этот способ приведен в п. 10.5.1.

10.4.5. Кристаллогидрат хлорида кальция

Налейте в стакан 30 мл 15%-го раствора соляной кислоты и добавьте небольшими порциями рассчитанное количество карбоната кальция до прекращения выделения газа. Полученный раствор профильтруйте на воронке с бумажным фильтром, перелейте в фарфоровую чашку и поставьте выпариваться при нагревании на песчаной бане. Выпаривание ведите до тех пор, пока температура раствора в чашке не достигнет 128–130 °С (растворимость хлорида кальция в воде при 130 °С равна 101 г/100 г воды).

Кристаллы, выпавшие после охлаждения раствора, отделите при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, высушите на фильтровальной бумаге и взвесьте. Рассмотрите под микроскопом и зарисуйте форму кристаллов.

Взвесьте в железном тигле известной массы 1–2 г полученного кристаллогидрата (используйте весы с точностью взвешивания $\pm 0,01$ г). Прокалите тигель в течение получаса в пламени газовой горелки. Немного охладите тигель на воздухе, а затем поместите его в эксикатор над концентрированной серной кислотой. Охладите тигель в эксикаторе до комнатной температуры, затем извлеките его и взвесьте. По результатам взвешивания определите состав кристаллогидрата.

Перенесите вещество после прокаливания в заранее взвешенный бюкс, взвесьте и оставьте его открытым на воздухе. Периодическим взвешиванием в течение нескольких дней определите изменение массы хлорида кальция со временем.

- Кристаллогидрат какого состава образовался на воздухе?

10.4.6. Получение хлорида бария из сульфата бария

Тщательно разотрите в фарфоровой ступке смесь 4 г сульфата бария и 2 г древесного угля, поместите в алундовый тигель и засыпьте доверху порошком древесного угля. Закройте тигель крышкой и прокалите 1 ч в тигельной печи при 900 °С. После охлаждения тигля извлеките вещество и разотрите в фарфоровой ступке.

Налейте в стакан 20 мл 20%-го раствора соляной кислоты и внесите небольшими порциями полученное вещество (*в вытяжном шкафу!*). Стакан поставьте на треножник с асбестовой сеткой и нагрейте раствор до кипения для удаления сероводорода. При наличии нерастворимых примесей профильтруйте раствор на воронке с бумажным фильтром.

Фильтрат перелейте в фарфоровую чашку и выпаривайте на водяной бане, пока в капле пробы раствора, взятой стеклянной палочкой и помещенной на часовое стекло, не начнут образовываться кристаллы. Охладите раствор. Выпавшие кристаллы отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, высушите на фильтровальной бумаге, поместите в пробирку и взвесьте. Рассмотрите кристаллы под микроскопом и зарисуйте их форму.

10.5. Практикум повышенной сложности по теме «Магний, щелочноземельные металлы»

10.5.1. Хлорид магния

Приготовьте раствор 6 г гексагидрата хлорида магния в 5 мл воды при 60 °С и раствор эквимольного количества горячего 40%-го раствора хлорида аммония. При непрерывном перемешивании постепенно прилейте горячий раствор хлорида аммония в стакан с хлоридом магния и оставьте охлаждаться на воздухе, затем поставьте в баню со льдом. Кристаллический осадок гексагидрата магнийаммонийхлорида отделите от раствора при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном.

Осторожно промойте осадок на фильтре небольшим количеством охлажденной воды (*двойная соль хорошо растворяется*). Полученное вещество высушите на фильтровальной бумаге и взвесьте.

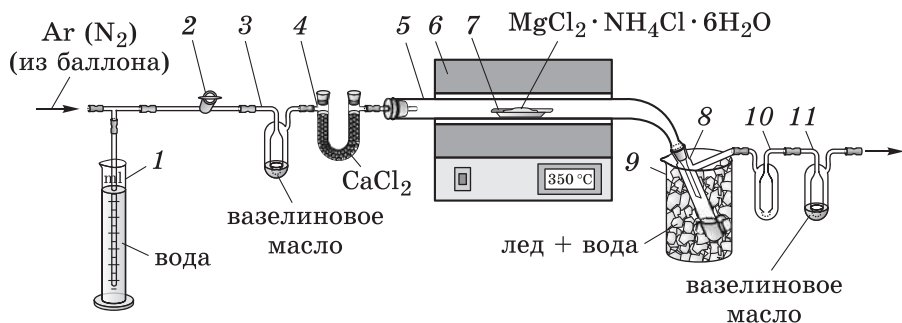


Рис. 10.4. Прибор для разложения гексагидрата магнийаммонийхлорида: 1 — гидрозатвор; 2 — кран; 3, 11 — промывалки—счетчики пузырьков с вазелиновым маслом; 4 — U-образная трубка с хлоридом кальция; 5 — кварцевая реакционная трубка; 6 — печь; 7 — фарфоровая лодочка; 8 — пробирка Вюрца (приемник для воды); 10 — предохранительная (обратная) промывалка

Соберите прибор, изображенный на рисунке 10.4. Реакционную трубку 5 установите в печи 6 с небольшим уклоном в сторону приемника 8.

Поместите полученный гексагидрат магнийаммонийхлорида в фарфоровую лодочку и установите в реакционной трубке 5 по центру печи. Подсоедините прибор к баллону с аргонem или азотом через редуктор. Установите ровный ток газа: 1–2 пузырька в секунду.

Включите печь, разогрейте вещество в реакционной трубке до 175 °C за 30 мин и выдержите при этой температуре 30 мин. Затем поднимите температуру в печи до 350 °C за 30 мин и выдержите 1 ч.

После завершения опыта извлеките лодочку с веществом из реакционной трубки и поместите в эксикатор с хлоридом кальция. После охлаждения до комнатной температуры взвесьте лодочку с веществом. Докажите, что получен безводный хлорид магния без примеси оксохлоридов.

10.5.2. Гидрид кальция

⚠ Водород горюч и в смеси с кислородом или воздухом взрывоопасен. Все опыты с водородом разрешается проводить только в маске, вдали от огня и в присутствии преподавателя!

Соберите прибор, изображенный на рисунке 10.5. Поместите в железную лодочку около 0,5 г кальция и установите ее в реакционной трубке по центру печи. Закройте краны 2 и 4.

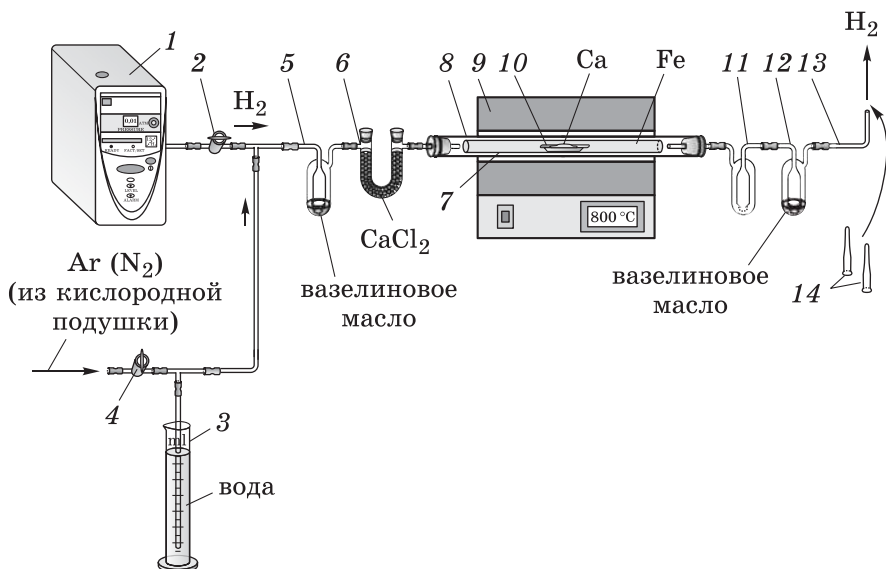


Рис. 10.5. Прибор для получения гидрида кальция:

1 — генератор водорода; 2, 4 — краны; 3 — гидрозатвор; 5, 12 — промывалки—счетчики пузырьков; 6 — U-образная трубка; 7 — железная трубка-вкладыш; 8 — кварцевая реакционная трубка; 9 — печь электрическая; 10 — железная лодочка; 11 — предохранительная (обратная) промывалка; 13 — изогнутая стеклянная трубка; 14 — пробирки для проверки водорода на чистоту

Присоедините к прибору кислородную подушку, заполненную аргоном. Откройте кран 4 для продувки прибора аргоном и проверки герметичности. В герметичном приборе пузырьки газа должны проскакивать через промывалки—счетчики пузырьков 5 и 12 с одинаковой скоростью. Если закрыть выход из трубки 13, то проскакивание пузырьков должно прекратиться. Убедившись в герметичности прибора, пропустите ток аргона в течение 10 мин, затем закройте кран 4.

Откройте кран 2 и включите генератор водорода. Вытесните аргон током водорода и проверьте на чистоту водород на выходе из трубки 13. Включите печь, повысьте температуру до 800 °C и нагревайте кальций в токе водорода в течение 1 ч. После завершения опыта выключите печь и дождитесь охлаждения реакционной трубки (в токе водорода) до комнатной температуры. Закройте кран 2 и выключите генератор водорода, затем откройте кран 4 и вытесните водород из прибора током аргона из кислородной подушки.

Разберите прибор и извлеките трубку-вкладыш 7 из реакционной трубки. Вещество перенесите во взвешенный бюкс или пробирку и взвесьте (*остерегайтесь воды!*).

ЧАСТЬ IV

ХИМИЯ *p*-ЭЛЕМЕНТОВ

11. БОР

11.1. Свойства бора

Поместите на дно пробирки небольшое количество порошка аморфного бора и добавьте 1–2 мл концентрированной азотной кислоты (*в вытяжном шкафу!*), затем осторожно нагрейте смесь.

Напишите уравнение реакции и объясните наблюдаемые явления.

- Какие свойства проявляет бор по отношению к кислотам и щелочам?

11.2. Борная кислота и бура

1. Определите pH насыщенного раствора борной кислоты с помощью универсальной индикаторной бумаги.

2. На часовое стекло капните каплю концентрированной серной кислоты, каплю глицерина и добавьте небольшое количество борной кислоты. Осторожно перемешайте смесь ушком предварительно прокаленной нихромовой проволоки и внесите в пламя горелки. Напишите уравнение реакции.

3. С помощью универсальной индикаторной бумаги определите pH раствора буры. Напишите уравнение гидролиза буры в молекулярной и ионной формах.

11.3. Окрашенные перлы буры

Нагрейте в пламени горелки ушко нихромовой проволоки (*проволоку предварительно прокалите!*) и опустите в небольшой тигель с 0,5 г буры. Часть буры должна прилипнуть к проволоке. Нагрейте буру в ушке в пламени горелки до образования прозрачного расплава. Проволоку с застывшим расплавом поместите на некоторое время в раствор соли хрома(+3), затем вновь прогрейте. Рассмотрите на просвет застывший стеклообразный расплав в ушке проволоки.

Проведите аналогичный опыт с раствором соли кобальта(+2).

Напишите уравнения реакций и объясните наблюдаемые явления.

11.4. Синтезы по теме «Бор»

11.4.1. Борная кислота

В стакан с горячим раствором 12 г буры в 25 мл воды прилейте 24%-й раствор соляной кислоты, взятый с 10%-м избытком относительно количества, необходимого для получения борной кислоты. Оставьте раствор охлаждаться на воздухе. Выделившиеся кристаллы отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном. Полученное вещество взвесьте. Рассмотрите кристаллы под микроскопом и зарисуйте их форму.

11.4.2. Нитрид бора

Поместите в фарфоровую ступку смесь 1 г переплавленного и измельченного оксида бора с 2 г карбамида, добавьте немного тетрахлорида углерода и тщательно разотрите. Полученную однородную массу перенесите в фарфоровый тигель с высокими стенками (*реакционная смесь при нагревании не должна перемещаться через края тигля!*).

Тигель установите на фарфоровый треугольник, прикройте крышкой и нагрейте в пламени воздушной горелки, вначале не очень сильно, затем до светло-красного каления.

Полученное вещество извлеките из тигля и разотрите в фарфоровой ступке, затем пересыпьте в стакан и промойте методом декантации водой, подкисленной 1–2 каплями соляной кислоты. Осадок отфильтруйте на воронке с бумажным фильтром, промойте на фильтре водой, высушите в сушильном шкафу при 100 °С и взвесьте.

11.4.3. Пероксоборат натрия, $\text{Na}_2\text{B}_2(\text{O}_2)_2(\text{OH})_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Приготовьте раствор 5 г буры и 1 г гидроксида натрия в 25 мл воды. Раствор профильтруйте и охладите в ледяной бане. Приготовьте раствор пероксида водорода, прилив к 6 мл 30%-го раствора пероксида 28 мл воды, и его тоже охладите.

Медленно прилейте раствор пероксида к раствору буры, постоянно контролируя температуру (она не должна превышать 50 °С).

Поместите получившийся раствор в охлаждающую смесь (лед + твердый хлорид натрия) и постоянно помешивайте его сте-

клянной палочкой, так как пероксоборат натрия часто образует пересыщенные растворы и выпадает в осадок лишь через некоторое время. Выпавшие кристаллы отделите от раствора на воронке со стеклянным фильтрующим дном, промойте холодной водой, спиртом, эфиром (по 5 мл), высушите на воздухе и взвесьте.

Небольшое количество полученной соли растворите в дистиллированной воде, добавьте немного 0,5 М раствора серной кислоты и прилейте по каплям раствор иодида калия.

- Какую структуру имеет пероксоанион в пероксоборате натрия?

11.5. Практикум повышенной сложности по теме «Бор»

11.5.1. Аммиакат трифторида бора

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 11.1. Промывалки 6 и 16 необходимы для сброса избытка газа в случае закупоривания продуктами реакции трубок 9, 12 и 13. Диаметр трубок 9 и 13 должен быть не менее 7–8 мм.

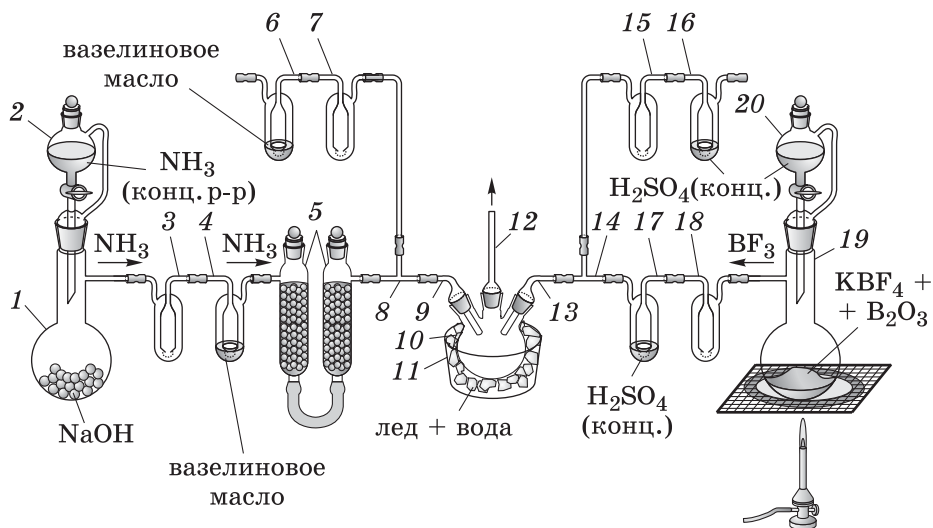


Рис. 11.1. Прибор для получения аммиаката трифторида бора: 1, 19 — колбы Вюрца; 2, 20 — капельные воронки; 3, 6, 15, 18 — предохранительные (обратные) промывалки; 4, 6 — промывалки с вазелиновым маслом; 5 — колонки с гидроксидом калия (натрия); 8, 14 — тройники; 10 — колба трехгорлая; 11 — баня со льдом и водой; 12 — выходная трубка; 16, 17 — промывалки с концентрированной серной кислотой

Заполните колбу Вюрца 1 примерно на $\frac{1}{3}$ гранулированным гидроксидом натрия, а в колбу Вюрца 19 поместите растертую в фарфоровой ступке смесь 25 г тетрафторобората калия и 4,5 г предварительно переплавленного и измельченного оксида бора (*в защитных очках и перчатках!*).

Приоткройте кран капельной воронки 2 и осторожно, по каплям, добавляйте аммиак в колбу 1. Вытесните воздух из прибора током аммиака, затем приоткройте кран капельной воронки 20 и добавляйте по каплям серную кислоту в колбу 19. Нагрейте колбу 19 с реакционной смесью через асбестовую сетку до начала выделения трифторида бора. Отрегулируйте нагревание так, чтобы скорость выделения трифторида бора составляла 3–5 пузырьков в секунду. Скорости подачи аммиака и трифторида бора в колбу 10 должны быть одинаковы, иначе трубки 9 и 13 могут забиться продуктами реакции.

! При закупорке трубок тотчас прекратите подачу газа. Для этого извлеките пробки, закрывающие капельные воронки, и закройте краны капельных воронок.

Аммиакат трифторида бора оседает на стенках колбы 10 в виде объемного рыхлого порошка белого цвета.

После завершения эксперимента осторожно вылейте содержимое колбы Вюрца 19 с остатками тетрафторобората калия и серной кислоты в большой стакан с водой, не вынося из вытяжного шкафа (*в защитных очках, перчатках!*). Затем осторожно промойте колбу водой (*в вытяжном шкафу с опущенными створками!*).

11.5.2. Три(*n*-бутил)борат

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 11.2. В колбу 1 поместите 3,1 г борной кислоты и прилейте 20 мл *n*-бутанола. В капельную воронку 2 налейте 15 мл *n*-бутанола.

Нагрейте содержимое колбы 1 и отгоните азеотропную смесь воды и *n*-бутанола. Затем в колбу через капельную воронку 2 добавляйте примерно 3 мл *n*-бутанола и вновь отгоните азеотропную смесь. Бутанол добавляйте небольшими порциями до полной отгонки воды в виде азеотропной смеси. В колбе должен остаться раствор три(*n*-бутил)бората в *n*-бутаноле, кипящий при более высокой температуре. Азеотропную смесь из приемника 8 перелейте в делительную воронку. После полного расслоения жидкости отделите верхний слой дистиллята (*n*-бутанол) от воды и сдайте лаборанту.

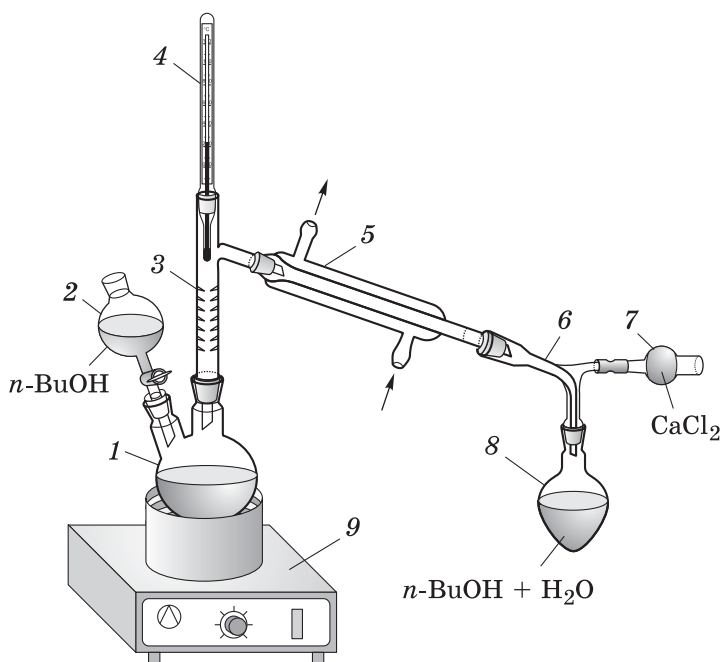


Рис. 11.2. Прибор для получения три(*n*-бутил)бората:

1 — колба двугорлая; 2 — капельная воронка; 3 — дефлегматор; 4 — термометр; 5 — холодильник; 6 — аллонж; 7 — хлоркальциевая трубка с безводным хлористым кальцием; 8 — приемник; 9 — колбонагреватель

Соберите прибор для фракционной перегонки в вакууме (рис. 11.3). Тонкий капилляр трубки 2 должен доходить почти до дна колбы 1. Для регулирования скорости подачи воздуха через трубку 2 (пузырьки воздуха способствуют равномерному кипению жидкости в колбе без перегрева) установите винтовой зажим 3, пережимающий резиновую трубку с продетой через нее нитью стекловолкна. Все шлифы прибора смажьте тонким слоем вакуумной смазки.

Перелейте через воронку раствор три(*n*-бутил)бората в *n*-бутаноле из колбы 1 (рис. 11.2) в прибор для перегонки при пониженном давлении (рис. 11.3). Подайте воду в холодильник, затем включите водоструйный насос (*наденьте защитные очки или маску!*). Отрегулируйте подачу воздуха зажимом 3 так, чтобы воздух проходил через раствор отдельными пузырьками.

Осторожно нагрейте колбу и отгоните в первый приемник фракцию *n*-бутанола, затем поверните «паука» и соберите три(*n*-бутил)борат во второй приемник (*не перегоняйте досуха!*). Запишите интервал температуры кипения фракции три(*n*-бутил)бората и укажите давление, при котором проводилась перегонка.

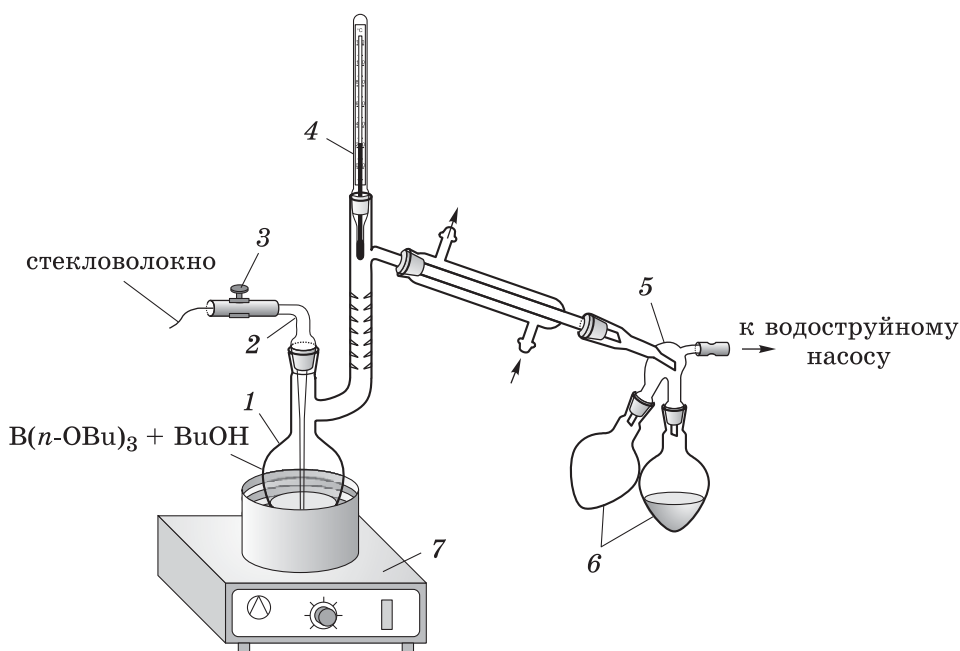


Рис. 11.3. Прибор для фракционной перегонки при пониженном давлении:

1 — прибор для микроперегонки; 2 — стеклянная трубка с капилляром; 3 — винтовой зажим; 4 — термометр; 5 — аллонж «паук»; 6 — колбы-приемники; 7 — колбонагреватель

После завершения перегонки и охлаждения колбы 1 (рис. 11.3) до комнатной температуры запустите воздух в прибор и выключите водоструйный насос. Отсоедините приемник с три(*n*-бутил)-боратом от прибора, закройте его пробкой и взвесьте. Рассчитайте выход (в %) относительно взятой борной кислоты.

12. АЛЮМИНИЙ

12.1. Свойства алюминия

1. Испытайте действие на гранулы алюминия концентрированных соляной, серной и азотной кислот при комнатной температуре и при нагревании. (*Опыты проводите в вытяжном шкафу в защитных очках!*)

2. Испытайте действие на гранулы алюминия разбавленных растворов (~1 М) соляной, серной и азотной кислот при комнатной температуре.

3. Подействуйте на гранулы алюминия разбавленным (~1 М) раствором гидроксида натрия при комнатной температуре и при нагревании (*Опыты проводите в вытяжном шкафу в защитных очках!*).

Напишите уравнения реакций и объясните происходящие явления.

- Какое положение занимает алюминий в ряду стандартных электродных потенциалов металлов?

12.2. Гидроксид алюминия и алюминат натрия

Осадите в трех пробирках гидроксид алюминия, добавляя по каплям концентрированный раствор аммиака к 1–2 мл раствора сульфата алюминия.

На осадок в первой пробирке подействуйте 1 М раствором серной кислоты.

Во вторую пробирку прилейте по каплям 1 М раствор гидроксида натрия до растворения осадка, затем полученный раствор нагрейте до кипения.

В третью пробирку добавьте избыток концентрированного раствора аммиака.

- Каким реактивом можно наиболее полно осадить гидроксид алюминия?
- Каким путем можно получить алюминат натрия в твердом виде?
- Что произойдет при пропускании углекислого газа через раствор алюмината натрия? Напишите уравнение реакции.

12.3. Соли алюминия

1. Определите рН раствора сульфата алюминия с помощью универсальной индикаторной бумаги.

2. Налейте в две пробирки раствор сульфата алюминия. Прилейте в одну пробирку раствор карбоната натрия, а в другую — раствор сульфида натрия.

Напишите уравнения реакций и объясните наблюдаемые явления.

- Какая из солей гидролизуеться сильнее в растворах равной концентрации: сульфат алюминия или алюминат натрия — и почему?

12.4. Синтезы по теме «Алюминий»

12.4.1. Алюмотермия (получение железа)

Прокалите в фарфоровой чашке 5 г оксида железа(+3) в течение 30 мин при 120–130 °С в сушильном шкафу. Приготовьте реакцию смесь из прокаленного оксида железа(+3) и 1,5 г свежеприготовленного порошка металлического алюминия.

Уложите ровным слоем на дно хорошо просушенного шамотового тигля 1 г порошка фторида кальция, сверху поместите реакцию смесь оксида железа(+3) и алюминия, утрамбуйте ее пестиком (рис. 12.1), сделайте стеклянной палочкой в центре реакционной смеси небольшое углубление.

Приготовьте 1 г зажигательной смеси, состоящей из порошка магния и пероксида бария, взятых в соотношении 1 : 9 по мас-

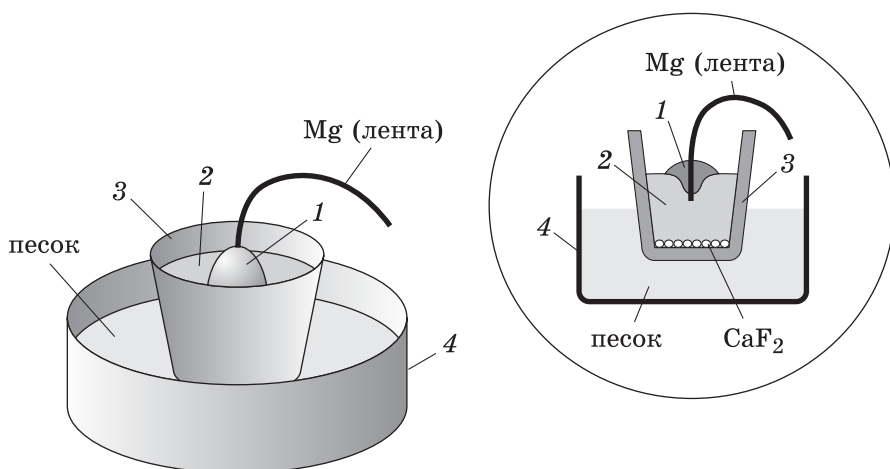


Рис. 12.1. Подготовка алюмотермического эксперимента:

1 — зажигательная смесь; 2 — реакция смесь; 3 — тигель; 4 — баня с песком

се. Перемешайте зажигательную смесь, осторожно встряхивая ее на листе бумаги.

! Растирать зажигательную смесь в ступке ни в коем случае нельзя!

Засыпьте зажигательную смесь в сделанное углубление. Вставьте магниевую ленту.

! Опыт проводится в вытяжном шкафу и только под наблюдением преподавателя. Наденьте защитные очки или маску! Запрещается заглядывать в тигель, если реакция не началась!

Поставьте тигель в песчаную баню так, чтобы он примерно на $\frac{1}{3}$ был погружен в песок. Опустите створки вытяжного шкафа на высоту 15–20 см, подожгите магниевую ленту горячей лучиной, вставленной в стеклянную трубку длиной 50–80 см.

После завершения бурной экзотермической реакции дождитесь охлаждения тигля до комнатной температуры (*не наклоняйтесь над тиглем!*), извлеките «королек» металла и взвесьте.

Приведенную методику можно использовать для получения других металлов (V, Cr, Mn, Co, Ni и др.) из их оксидов.

12.4.2. Алюмокалиевые квасцы

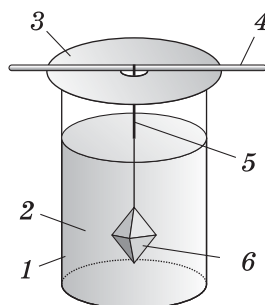
Приготовьте в стакане объемом 50 мл раствор 7 г $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ в 5 мл горячей ($\sim 70^\circ\text{C}$) воды. Эквимолярное количество сульфата калия растворите при нагревании в 10 мл воды. Раствор сульфата калия прилейте к раствору сульфата алюминия и оставьте охлаждаться до комнатной температуры. Выпавшие кристаллы отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, затем просушите на фильтровальной бумаге и взвесьте. Напишите уравнение реакции и рассчитайте выход (в %). Кристаллы рассмотрите под микроскопом и зарисуйте их форму.

Рост кристаллов алюмокалиевых квасцов. Приготовьте в стакане 50 мл насыщенного при комнатной температуре раствора алюмокалиевых квасцов. Выберите в качестве затравки наиболее совершенный кристалл квасцов из полученных в предыдущем опыте. Прикрепите его тонкой нитью или волосом к стеклянной палочке 4 и опустите в стакан с насыщенным раствором (рис. 12.2).

Закройте стакан 1 крышкой из фильтровальной бумаги 3. В течение нескольких занятий наблюдайте за ростом кристалла. После завершения опыта извлеките кристалл из раствора, осу-

Рис. 12.2. Выращивание монокристалла алюмокалиевых квасцов:

1 — стакан; 2 — насыщенный раствор алюмокалиевых квасцов; 3 — крышка из фильтровальной бумаги; 4 — стеклянная палочка; 5 — нить подвеса; 6 — растущий кристалл



шите фильтровальной бумагой и взвесьте. Зарисуйте форму кристалла. Кристаллы алюмокалиевых квасцов без защиты от выветривания не сохраняются.

12.4.3. Безводный хлорид алюминия

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 12.3. В сухую кварцевую реакционную трубку 6 поместите ~0,5 г алюминиевой стружки.

Поместите в колбу Вюрца 1 смесь перманганата калия и хлорида натрия. Добавляйте к этой смеси по каплям концентрированную соляную кислоту для получения тока хлора (см. в разд. 4.5. «Получение и очистка хлора»).

После заполнения прибора хлором осторожно обогрейте реакционную трубку 6 пламенем газовой горелки, а затем сильно на-

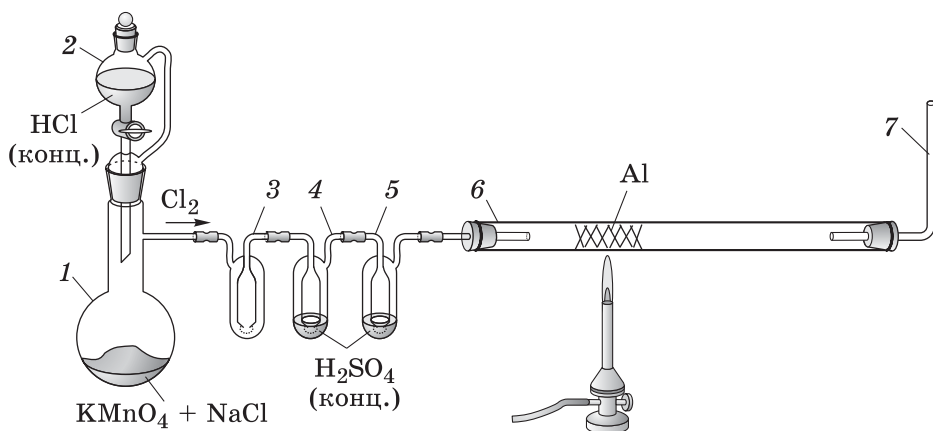


Рис. 12.3. Прибор для получения безводного хлорида алюминия:

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — предохранительная (обратная) промывалка; 4, 5 — промывалки с концентрированной серной кислотой; 6 — реакционная трубка; 7 — стеклянная трубка

грейте ее в том месте, где лежит алюминий. Отрегулируйте ток хлора так, чтобы хлорид алюминия конденсировался на стенках реакционной трубки 6 и не уносился из прибора через трубку 7.

По окончании реакции охладите реакционную трубку 6 в токе хлора. Затем отсоедините реакционную трубку от промывалок, удалите остатки непрореагировавшего алюминия и быстро высыпьте хлорид алюминия в предварительно взвешенную сухую пробирку, оттянутую посередине. Пробирку тотчас запаяйте.

Небольшое количество хлорида алюминия со стенок трубки 6 растворите в воде и определите pH раствора универсальным индикатором.

12.4.4. Алуминат натрия

Взвесьте 1 г оксида алюминия и рассчитанное по уравнению реакции количество карбоната натрия. После тщательного совместного перетирания в фарфоровой ступке поместите смесь в железный тигель. Тигель со смесью поставьте в тигельную печь и нагревайте при 600 °C в течение 1 ч.

После окончания опыта и охлаждения тигля до комнатной температуры извлеките плав и измельчите его в ступке. Внесите немного полученного алумината натрия в пробирку с 2–3 мл воды и определите pH раствора универсальной индикаторной бумагой.

- Как из алумината натрия можно получить гидроксид алюминия?

12.4.5. Тригидрат триоксалатоалюмината калия

Растворите в стакане объемом 250 мл при перемешивании 11,2 г гидроксида калия в 150 мл воды (*в вытяжном шкафу, осторожно!*), охладите полученный раствор до комнатной температуры и мелкими порциями внесите в него 1,8 г алюминиевого порошка.

Дождитесь, когда раствор снова остынет до комнатной температуры и постепенно, не прекращая перемешивания, внесите 25,2 г дигидрата щавелевой кислоты. Если после добавления всей кислоты раствор останется мутным, немного подогрейте его. Прозрачный раствор упарьте до объема 60–70 мл, охладите, стакан накройте часовым стеклом и оставьте при комнатной температуре. Дождитесь образования крупных (размером 8–10 мм), хорошо ограненных кристаллов.

12.5. Практикум повышенной сложности по теме «Алюминий»

12.5.1. Ацетилацетонат алюминия

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 12.4. В стакан 1 налейте 15 мл воды, капельную воронку 2 заполните рассчитанным количеством 2,5%-го раствора аммиака, взятого с избытком 50%.

Включите перемешивание, растворите в воде 4 г нонагидрата нитрата алюминия и добавьте ацетилацетон с избытком 10% относительно стехиометрического количества (плотность ацетилацетона 0,976 г/мл). Из капельной воронки 2 при непрерывном перемешивании постепенно добавляйте к содержимому стакана раствор аммиака. При добавлении аммиака контролируйте pH реакционной смеси с помощью универсальной индикаторной бумаги. Щелочная реакция будет указывать на завершение взаимодействия. Выпавший осадок отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, затем высушите на фильтровальной бумаге. Взвесьте полученное вещество.

Соберите на лабораторном столе прибор, изображенный на рисунке 12.5. Реактор 3 не должен касаться стенок вертикальной печи 1. На дно реактора поместите ацетилацетонат алюминия. Шлифы прибора смажьте тонким слоем вакуумной смазки.

Включите водоструйный насос и откачайте воздух из реактора 3 (наденьте защитные очки!). Включите печь 1, нагрейте реактор до 200 °С за 30 мин и выдерживайте при этой температуре 1 ч.

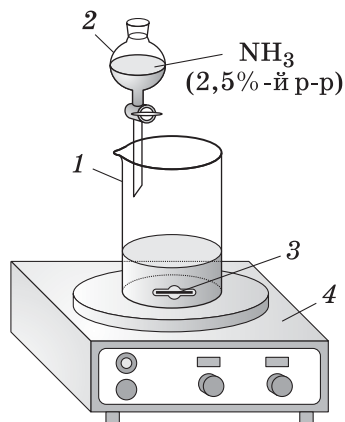


Рис. 12.4. Прибор для получения ацетилацетоната алюминия:

1 — стакан; 2 — капельная воронка; 3 — перемешивающий стержень; 4 — магнитная мешалка

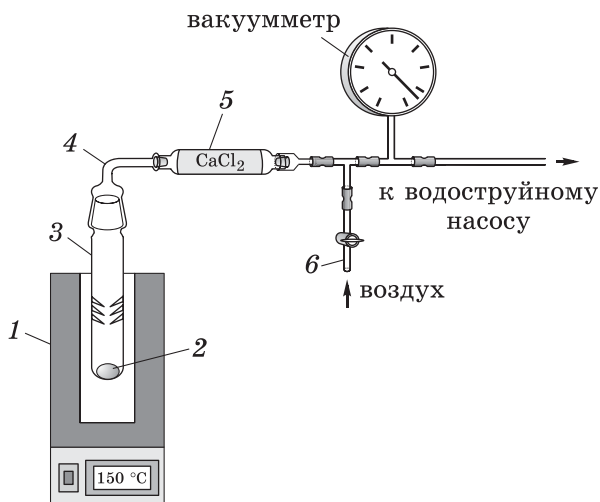


Рис. 12.5. Установка для возгонки ацетилацетоната алюминия в вакууме:

1 — печь; 2 — исходное вещество; 3 — реактор; 4 — крышка реактора с отводом; 5 — осушительная колонка; 6 — кран для запуска воздуха в реактор

После завершения возгонки отключите печь. После ее охлаждения запустите воздух в реактор с помощью крана 6 и отключите водоструйный насос. Извлеките реактор из печи.

Возогнанное вещество поместите в заранее взвешенную пробирку и взвесьте. Кристаллы полученного вещества рассмотрите под микроскопом.

12.5.2. Безводный бромид алюминия

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 12.6. Кварцевую реакционную трубку 8 установите с небольшим наклоном в сторону приемника. Заполните промывалки 3 и 11 концентрированной серной кислотой. Осушительные колонки 4 заполните оксидом фосфора(+5) на стекловате (*наденьте защитные очки и перчатки!*). Шлифы не смазывайте!

В качестве гидрозатвора можно использовать мерный цилиндр с опущенной в него длинной стеклянной трубкой. Гидрозатвор 1 заполните на $3/4$ водой. Проверьте, что кран 2 закрыт.

Поместите ~4 г алюминиевой стружки или тонко нарезанной фольги в лодочку 9 и внесите в реактор 8.

С помощью длинной гибкой трубки подсоедините вход прибора к выходному штуцеру редуктора на баллоне. С помощью вен-

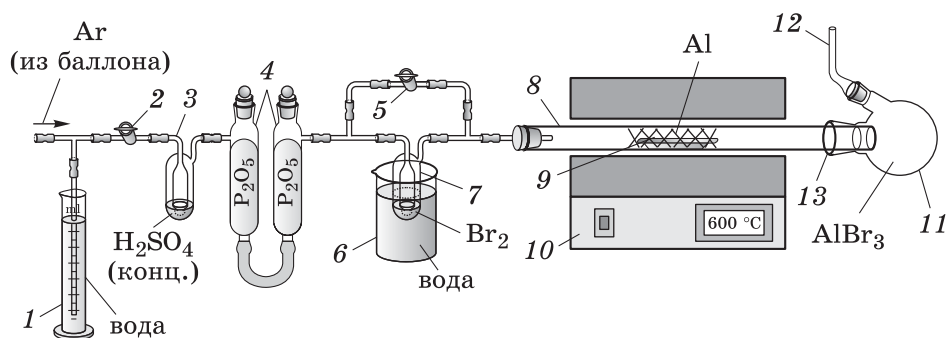


Рис. 12.6. Прибор для получения бромидов алюминия:

1 — гидрозатвор; 2, 5 — краны; 3, 11 — промывалки с концентрированной серной кислотой; 4 — осушительные колонки с оксидом фосфора(+5) на стекловате; 6 — стакан с водой; 7 — промывалка с бромом; 8 — реактор кварцевый; 9 — лодочка фарфоровая; 10 — печь; 11 — колба-приемник; 12 — газоотводящая трубка; 13 — термостойкое уплотнение

тиля тонкой регулировки установите ток аргона 1–2 пузырька в 1 с через гидрозатвор 1. Для проверки герметичности прибора закройте пробкой выход из реакционной трубки 8 и откройте кран 2. Если прибор герметичен, через промывалку 3 в течение 10 с не должно проскакивать ни одного пузырька газа. После того как убедитесь в герметичности прибора, закройте кран 2 и прекратите подачу аргона из баллона. Уплотните зазор между реакционной трубкой 8 и колбой-приемником 11 термостойким материалом (стекловолокном или асбестом).

В промывалку 7 налейте 5–6 мл брома. Поместите ее в стакан с водой комнатной температуры. Откройте кран 5 обводной линии. При закрытом кране 2 с помощью вентиля тонкой регулировки на редукторе вновь установите ток газа 1–2 пузырька в 1 с через гидрозатвор, затем с помощью крана 2 установите слабый ток газа 1–2 пузырька в 1 с через промывалку 3.

Закройте кран 5 и слегка подогрейте алюминий в реакционной трубке для инициирования реакции бромирования, затем горелку уберите. Добавьте горячей воды в стакан 6 для увеличения подачи брома. Подберите температуру воды таким образом, чтобы практически весь испаряющийся из промывалки 7 бром вступал в реакцию.

Бромирование ведите до расходования всего брома, затем выключите печь.

После охлаждения печи отключите ток аргона и отсоедините колбу-приемник 11 от прибора. Боковую горловину колбы-приемника 11 сразу же закройте пробкой, а центральную горловину — пробкой с хлоркальциевой трубкой.

Расплавьте содержимое колбы-приемника 11 при слабом нагревании газовой горелкой, быстро перелейте расплавленный трибромид алюминия во взвешенную сухую подогретую пробирку и тотчас закройте ее пробкой (*в вытяжном шкафу с опущенными створками, в защитных очках!*). Взвесьте пробирку с полученным веществом и рассчитайте выход (в %) относительно взятого количества брома.

Небольшое количество трибромида алюминия растворите в стакане с водой (*в вытяжном шкафу с опущенными створками, в защитных очках!*). Определите pH полученного раствора с помощью универсальной индикаторной бумаги. Идентифицируйте продукты взаимодействия трибромида алюминия с водой.

13. УГЛЕРОД, КРЕМНИЙ

13.1. Оксид углерода(+4)

1. Наполните три сухие склянки емкостью 100–200 мл диоксидом углерода из баллона, аппарата Киппа или кислородной подушки и закройте каждую из них покровным стеклом. Склянки открывайте непосредственно перед проведением опыта.

Как убедиться в том, что банки наполнены диоксидом углерода?

«Вылейте» содержимое одной из склянок на слабое пламя газовой горелки.

Во вторую склянку при помощи пинцета или щипцов быстро внесите ленту горящего магния.

В третью склянку осторожно внесите ложечку с зажженным на воздухе красным фосфором (*опыт выполняйте в вытяжном шкафу!*).

2. Пропускайте ток диоксида углерода через дистиллированную воду в течение 3–5 мин. Определите pH раствора с помощью универсальной индикаторной бумаги или pH-метра.

Объясните наблюдаемые явления. Напишите уравнения всех реакций.

- Какие процессы происходят при взаимодействии диоксида углерода с водой?
- Какие ионы присутствуют в полученном растворе?
- Ознакомьтесь со значениями констант диссоциации угольной кислоты.

13.2. Соли угольной кислоты

1. В две пробирки налейте 0,1 М растворы карбоната и гидрокарбоната натрия. Определите pH растворов с помощью универсальной индикаторной бумаги.

2. Налейте в пробирку 2–3 мл насыщенного раствора гидроксида кальция и пропустите через него ток диоксида углерода до выпадения осадка. Затем продолжите пропускание газа до полного растворения выпавшего осадка.

Раствор, полученный после пропускания избытка диоксида углерода, нагрейте.

3. К 2–3 мл раствора хлорида кальция добавьте раствор карбоната натрия.

4. Испытайте отношение карбонатов различных металлов к нагреванию. Для этого прокалите в тиглях основной карбонат

меди, средние карбонаты магния, кальция, натрия, гидрокарбонат натрия.

Объясните наблюдаемые явления. Напишите уравнения всех реакций.

- Какая соль гидролизруется сильнее: карбонат или гидрокарбонат натрия? Ответ подтвердите расчетом констант гидролиза солей.
- Каковы условия выпадения осадка карбоната кальция?
- Объясните причины различной термической устойчивости изученных карбонатов.

13.3. Свойства кремния

1. К небольшому количеству растертого кремния в пробирке добавьте 2–3 мл 20%-го раствора гидроксида натрия (*в вытяжном шкафу, в защитных очках!*).

2. Испытайте действие 2–3 мл концентрированной соляной кислоты на кремний в пробирке при комнатной температуре и нагревании (*в вытяжном шкафу, в защитных очках!*).

Объясните наблюдаемые явления. Напишите уравнения всех реакций.

- Как можно растворить кремний?

13.4. Силикаты

Гидролиз силиката натрия. Возьмите разбавленный водный раствор силиката натрия (жидкого стекла) и определите pH с помощью универсальной индикаторной бумаги. Полученный раствор налейте в три пробирки. В первую пробирку прилейте разбавленную соляную кислоту. Во вторую пробирку добавьте немного кристаллического хлорида аммония, содержащее пробирку хорошо перемешайте. Через раствор в третьей пробирке пропустите ток диоксида углерода.

Гидролиз стекла. Нагрейте (*в защитных очках!*) конец стеклянной палочки или трубки в пламени газовой горелки до размягчения и быстро опустите в стакан с водой. Вылейте воду из стакана, мелкие осколки стекла перенесите в фарфоровую ступку и разотрите (*в защитных очках!*). К полученному мелкому порошку прилейте две-три капли раствора фенолфталеина.

«Неорганический сад». Налейте в прозрачный пластмассовый или стеклянный стакан 30–50 мл раствора жидкого стекла. Сверху добавьте кристаллы солей кобальта, меди(+2), железа(+3), алюминия, никеля.

Объясните образование «неорганического сада» в растворе жидкого стекла. Напишите уравнения всех реакций.

13.5. Гидрогель и гидрозоль кремниевой кислоты

Гидрогель кремниевой кислоты. Налейте в большую пробирку 5 мл раствора жидкого стекла, быстро прилейте 3 мл 24%-го раствора соляной кислоты и перемешайте стеклянной палочкой.

Гидрозоль кремниевой кислоты. К 6 мл концентрированной соляной кислоты в большой пробирке прилейте 1 мл жидкого стекла и тщательно перемешайте. Профильтруйте полученный раствор через бумажный фильтр в другую пробирку. Направьте сбоку на пробирку с фильтратом луч света от лазерной указки. Отметьте, как изменился диаметр светового пятна после прохождения через фильтрат.

Профильтрованный раствор нагрейте почти до кипения, а затем охладите.

- Что такое гидрогель и гидрозоль?

13.6. Синтезы по теме «Углерод, кремний»

13.6.1. Оксид углерода(+2)

! Монооксид углерода — сильный яд! Опыты проводите только в вытяжном шкафу.

Получение оксида углерода(+2) действием концентрированной серной кислоты на муравьиную кислоту. Соберите прибор, изображенный на рисунке 13.1 (а). В колбу Вюрца 1 емкостью 100 мл налейте 30 мл концентрированной серной кислоты, в капельную воронку 2 — 15 мл муравьиной кислоты, в промывалку 3 — небольшое количество вазелинового масла.

В среднюю часть трубки из тугоплавкого стекла 4 поместите ~0,2 г оксида меди(+2). Осторожно нагрейте колбу с серной кислотой через асбестовую сетку и по каплям добавляйте к ней муравьиную кислоту.

❗ Оксид углерода(+2) горюч и в смеси с кислородом или воздухом взрывоопасен! Наденьте очки или маску!

Нагрейте пламенем горелки ту часть трубки, где лежит оксид меди. После завершения восстановления оксида меди охладите реакционную трубку в токе оксида углерода(+2) до комнатной температуры и испытайте действие выходящего газа на известковую воду.

Приготовьте аммиачный раствор нитрата серебра, добавив концентрированный раствор аммиака к раствору нитрата серебра до исчезновения осадка оксида серебра.

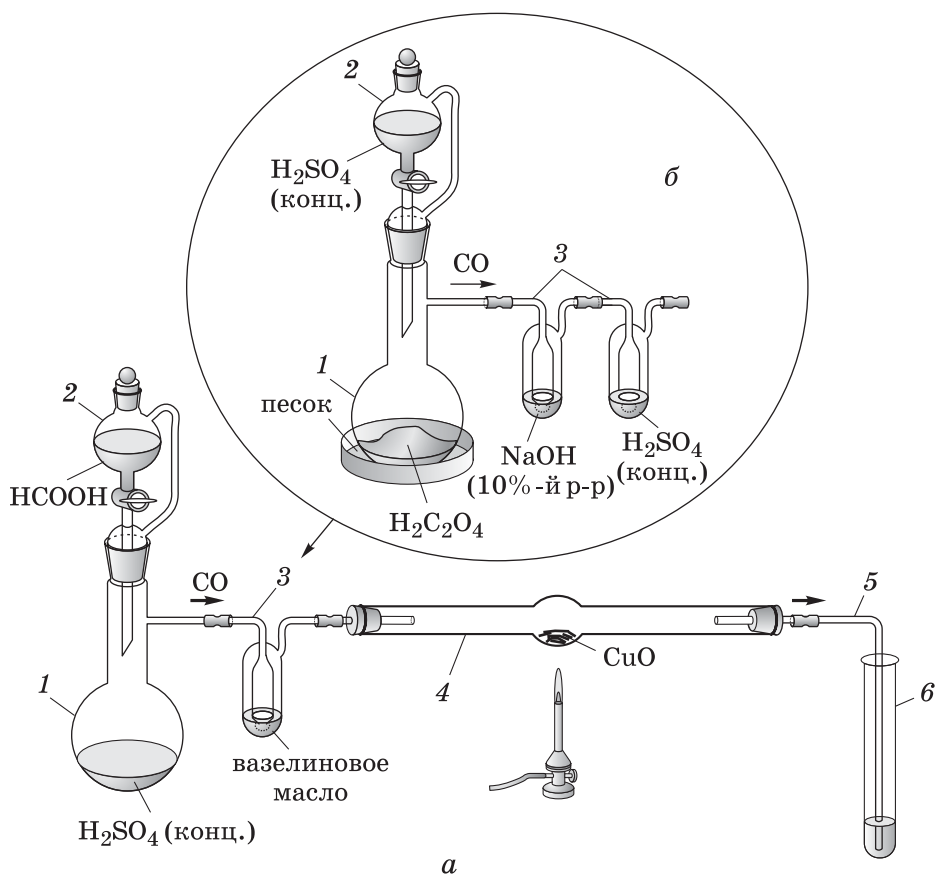


Рис. 13.1. Прибор для получения оксида углерода(+2): а — восстановление оксида меди в токе оксида углерода(+2); б — получение оксида углерода(+2) действием концентрированной серной кислоты на щавелевую кислоту.

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — промывалки; 4 — реакционная трубка; 5 — изогнутая стеклянная трубка; 6 — пробирка

Пропустите монооксид углерода через свежеприготовленный аммиачный раствор нитрата серебра.

Напишите уравнения всех реакций, объясните наблюдаемые явления.

Получение оксида углерода(+2) действием концентрированной серной кислоты на щавелевую кислоту. Поместите в колбу Вюрца 1 10–15 г щавелевой кислоты (рис. 13.1, б), а в капельную воронку 2 налейте концентрированную серную кислоту. Первую промывалку 3 заполните 10%-м раствором гидроксида натрия, а вторую — концентрированным раствором серной кислоты. Осторожно нагрейте колбу со щавелевой кислотой на песчаной бане и по каплям добавьте в колбу серную кислоту до начала энергичного выделения газа.

Напишите уравнение реакции.

- Что произойдет при пропускании оксида углерода(+2) через солянокислый раствор хлорида меди(+1)?
- Какие свойства проявляет оксид углерода(+2) при пропускании через аммиачный раствор нитрата серебра и солянокислый раствор хлорида меди(+1)?

13.6.2. Кристаллический кремний

! Опыт проводите в вытяжном шкафу под наблюдением преподавателя! Наденьте защитные очки или маску!

Для получения кремния воспользуйтесь методикой, приведенной в разделе 12.4.1, только вместо шамотового возьмите железный тигель с крышкой.

Разотрите в фарфоровой ступке смесь 2 г свежеприготовленного алюминиевого порошка и 1,8 г предварительно прокаленного в сушильном шкафу при 200 °С в течение 30 мин кварцевого песка, затем добавьте 2,5 г порошка серы и вновь перетрите. Смесь поместите в тигель (без слоя фторида кальция на дне). Поставьте тигель в песчаную баню, приготовьте и поместите в тигель зажигательную смесь, вставьте ленту магния и, опустив створки вытяжного шкафа на высоту 15–20 см, подожгите магниевую ленту горячей лучиной, вставленной в длинную стеклянную трубку.

После бурной экзотермической реакции, переходящей в спокойное горение серы, возьмите тигельными щипцами крышку и закройте тигель (*не наклоняйтесь над тиглем!*). Когда тигель остынет, извлеките его содержимое. Раздробите полученную массу и отделите получившийся кремний от остальных продуктов реакции.

- ! Продукты реакции содержат сульфид алюминия, поэтому
● их нельзя выбрасывать в мусор!

Кусочки, содержащие кремний, осторожно высыпьте небольшими порциями в стакан с 24%-м раствором соляной кислоты (*в вытяжном шкафу, надев защитные очки или маску!*). Кремний промойте водой, высушите на воздухе и взвесьте.

- Как можно утилизировать сульфид алюминия?

13.6.3. Гексафторокремниевая кислота

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 13.2.

Смешайте 2 г сухого кварцевого песка и 2 г фторида кальция. Смесь тщательно разотрите в фарфоровой ступке и поместите в колбу Вюрца 1. В стакан 4 налейте 10 мл воды. Воронка 3 должна касаться поверхности воды.

- ! Все последующие операции необходимо проводить в перчатках!

Налейте 15 мл 96%-й серной кислоты в колбу 1 и тотчас закройте пробкой. Начинает выделяться газ. При уменьшении интенсивности выделения газа нагрейте колбу газовой горелкой через асбестовую сетку и грейте до прекращения выделения газа. Содержимое колбы не перегревайте и не кипятите. Периодически разрушайте корку, образующуюся на поверхности воды в стака-

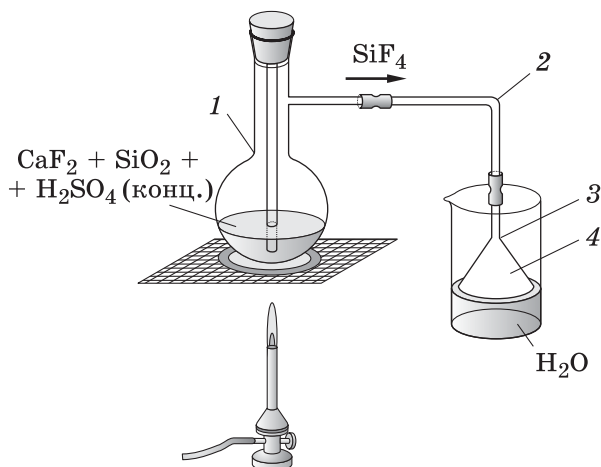


Рис. 13.2. Прибор для получения гексафторокремниевой кислоты:
1 — колба Вюрца; 2 — изогнутая стеклянная трубка; 3 — воронка; 4 — стакан

не 4. Полученный раствор гексафторокремниевой кислоты профильтруйте на воронке с бумажным фильтром.

Определите pH раствора гексафторокремниевой кислоты с помощью универсальной индикаторной бумаги. Испытайте действие раствора гексафторокремниевой кислоты на цинк и магний.

Напишите уравнения реакций и объясните наблюдаемые явления.

- Каким еще способом можно получить гексафторокремниевую кислоту?
- Какие соли гексафторокремниевой кислоты хорошо растворяются в воде, а какие малорастворимы?

13.6.4. Силицид магния и силаны

! Опыт проводите в вытяжном шкафу! Наденьте защитную маску или очки!

Предварительно прокалите в сушильном шкафу при 200 °С в течение 30 мин кварцевый песок, а затем тонко измельчите его в чугунной ступке. Смешайте 1 г кварцевого песка с порошкообразным магнием, взятым в полуторном избытке. Смесь пересыпьте в пробирку из тугоплавкого стекла. Пробирку закрепите наклонно в лапке штатива над баней с песком и осторожно прогрейте по всей длине пламенем газовой горелки, а затем сильно нагрейте часть пробирки с реакционной смесью. После завершения реакции и охлаждения вещества до комнатной температуры разбейте пробирку. Спекшееся вещество раздробите в фарфоровой ступке и небольшими порциями внесите в стакан с 50 мл 24%-го раствора соляной кислоты.

! Наденьте защитные очки и опустите створки вытяжного шкафа. Возможен выброс реакционной массы!

Напишите уравнения реакций и объясните наблюдаемые явления.

13.7. Практикум повышенной сложности по теме «Кремний»

13.7.1. Тетраацетат кремния

Получение тетрахлорида кремния. Соберите в вытяжном шкафу прибор для получения тетрахлорида кремния (рис. 13.3).

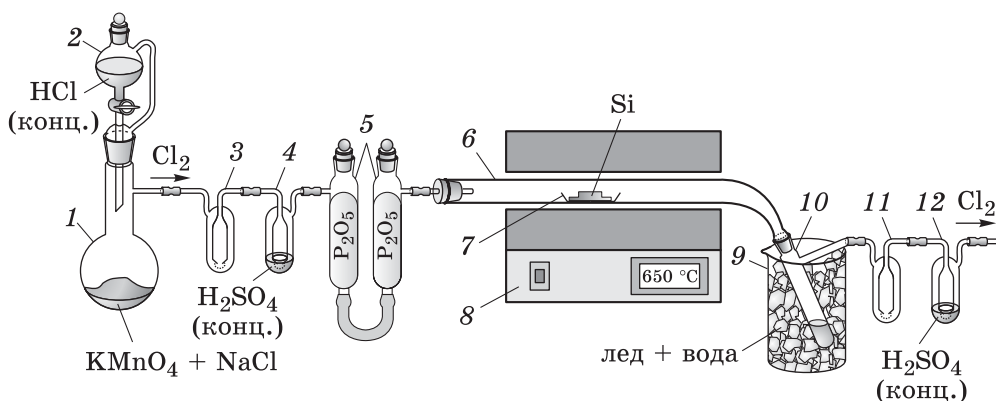


Рис. 13.3. Прибор для получения тетрахлорида кремния:

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3, 11 — предохранительные промывалки; 4, 12 — промывалки с концентрированной серной кислотой; 5 — осушительные колонки; 6 — кварцевая реакционная трубка; 7 — лодочка фарфоровая; 8 — печь; 9 — пробирка Вюрца-приемник; 10 — баня со льдом и водой

Реакционную трубку 6 установите с небольшим наклоном в сторону приемника 9. Поместите в реакционную трубку 6 фарфоровую лодочку 7 с ~2 г кристаллического кремния, измельченного в фарфоровой ступке.

Установите ток хлора так, чтобы через промывалку 12 проскакивало 1–2 пузырька в 1 секунду. Включите печь, разогрейте ее до 650 °С и выдержите при этой температуре 1 ч. После прекращения конденсации жидкости в приемнике 9 охладите прибор в токе хлора. Отсоедините приемник от реакционной трубки, закройте пластмассовой пробкой и взвесьте.

Перегоните (в вытяжном шкафу!) полученный тетрахлорид кремния над медными стружками в приборе для микроперегонки (см. рис. 3.7 на с. 49). Отметьте температуру кипения. Полученное вещество перелейте во взвешенную пробирку и за-

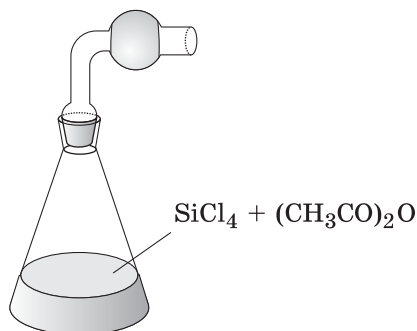


Рис. 13.4. Колба для получения тетраацетата кремния

кройте пробкой. Определите массу полученного тетрахлорида кремния.

Получение тетраацетата кремния. Налейте в маленькую коническую колбу со шлифом (рис. 13.4) рассчитанное по уравнению реакции количество уксусного ангидрида, взятое с 20%-м избытком (*в вытяжном шкафу, в защитных очках и перчатках!*). Добавьте в колбу тетрахлорид кремния. Колбу закройте пробкой с хлоркальциевой трубкой. Для инициирования кристаллизации необходимо легкое потряхивание колбы или термодиклирование, то есть попеременное нагревание в теплой воде и охлаждение в холодной. После выпадения кристаллов колбу охладите в бане со льдом.

Кристаллы тетраацетата кремния отделите от раствора фильтрованием на воронке со стеклянным фильтрующим дном при пониженном давлении, плотно закрыв воронку сверху листом вакуумной резины. Полученное вещество быстро перенесите во взвешенную пробирку с пробкой и взвесьте.

13.7.2. Тетраизопропоксисилан

Получите 3–4 г перегнанного тетрахлорида кремния по рассмотренной в предыдущем разделе методике.

Налейте в небольшую коническую колбу со шлифом (рис. 13.4) рассчитанное количество безводного изопропилового спирта, взятого с 50%-м избытком. Поместите колбу в баню со льдом и осторожно, по каплям, добавьте к спирту тетрахлорид кремния (*в вытяжном шкафу, в защитных очках и перчатках!*). После введения всего тетрахлорида кремния колбу тотчас закройте пробкой с хлоркальциевой трубкой.

Полученную жидкость перелейте в прибор для микроперегонки (см. рис. 3.7 на с. 49), отгоните избыточный изопропиловый спирт и соберите в отдельный приемник фракцию тетраизопропоксисилана. Отметьте температуру кипения.

Чистый тетраизопропоксисилан перелейте во взвешенную пробирку, закройте пробкой и взвесьте.

14. ОЛОВО, СВИНЕЦ

14.1. Получение и свойства олова

1. В раствор хлорида олова(+2) поместите пластинку (гранулу) цинка.

2. Подействуйте на полученное олово концентрированными и разбавленными (~1 М) соляной, азотной и серной кислотами (*в вытяжном шкафу!*); 30%-й азотной кислотой; разбавленным раствором гидроксида натрия (~1 М) при комнатной температуре и при нагревании.

Напишите уравнения реакций и объясните наблюдаемые явления.

14.2. Соединения олова(+2)

Гидроксид олова(+2)

Осадите в двух пробирках гидроксид олова(+2) действием 1 М раствора гидроксида натрия на раствор хлорида олова.

Испытайте действие 1 М раствора соляной кислоты на осадок в одной пробирке. К осадку в другой пробирке добавьте избыток раствора гидроксида натрия.

- Чем следует осаждать гидроксид олова?

Гидроксостаннат(+2) натрия

К раствору хлорида олова(+2) прилейте небольшими порциями избыток раствора гидроксида натрия до образования прозрачного раствора. Полученный раствор гидроксостанната(+2) натрия перелейте в три пробирки.

Нагрейте раствор в первой пробирке. Раствор во второй пробирке разбавьте водой и оставьте до следующего занятия. Получите осадок гидроксида висмута(+3) действием 1 М раствора гидроксида натрия на раствор нитрата висмута(+3) и внесите его в раствор гидроксостанната(+2) натрия в третьей пробирке. Объясните наблюдаемые явления, напишите уравнения реакций.

Хлорид олова(+2)

Налейте в пробирку 1–2 мл раствора хлорида олова(+2) и добавьте к нему немного бромной воды. Затем добавьте в пробирку раствор свежеприготовленного сульфида аммония. Определите

по цвету выпавшего осадка степень окисления олова в продукте реакции.

- На какие свойства соединений олова(+2) указывают эти реакции?

14.3. α - и β -Оловянные кислоты

α -Оловянная кислота

Поместите раствор пентагидрата хлорида олова(+4), подкисленного соляной кислотой, в четыре пробирки. Прилейте в каждую из них по каплям 10%-й раствор аммиака до полноты осаждения. К осадку в первой пробирке добавьте избыток 1 М раствора соляной кислоты, во вторую пробирку прилейте избыток 1 М раствора гидроксида натрия.

Нагрейте содержимое двух оставшихся пробирок до кипения. После охлаждения растворов до комнатной температуры добавьте в одну из пробирок избыток 1 М раствора соляной кислоты, а в другую избыток 1 М раствора гидроксида натрия. Напишите уравнения реакций и объясните наблюдаемые явления.

- Какие свойства проявляет α -оловянная кислота в проделанных опытах?
- Сохраняются ли эти свойства после кипячения или длительного стояния?

β -Оловянная кислота

Поместите в пробирку 0,3 г олова, добавьте 2–3 мл концентрированной азотной кислоты и слегка нагрейте (*в вытяжном шкафу, в защитных очках!*). Тщательно промойте полученную β -оловянную кислоту водой путем декантации и поместите в две пробирки. Подействуйте на вещество в первой пробирке 1 М раствором соляной кислоты, во вторую пробирку добавьте избыток 1 М раствора гидроксида натрия.

Напишите уравнения реакций и объясните наблюдаемые явления.

- Какой состав имеют α - и β -оловянные кислоты?
- Сравните реакционную способность α - и β -оловянных кислот.

14.4. Сульфиды и тиосоли олова

1. В три пробирки налейте по 1–2 мл солянокислого раствора хлорида олова(+2). Добавьте во все пробирки немного свежеприготовленного раствора сульфида аммония до выпадения осадка (*в вытяжном шкафу!*).

Подействуйте на осадок сульфида олова(+2) в первой пробирке концентрированной соляной кислотой. Испытайте отношение осадка сульфида олова(+2) в двух других пробирках к добавлению избытка концентрированного (~20%-го) раствора гидроксида натрия и избытка раствора сульфида аммония.

2. В три пробирки налейте по 1–2 мл солянокислого раствора хлорида олова(+4). Добавьте во все пробирки немного раствора сульфида аммония до выпадения осадка.

Подействуйте на осадок в первой пробирке концентрированной соляной кислотой, во второй — избытком концентрированного раствора гидроксида натрия. К осадку в третьей пробирке добавьте избыток раствора сульфида аммония до его растворения. Добавьте к полученному раствору разбавленную соляную кислоту.

- Как относятся сульфиды олова(+2) и олова(+4) к полисульфиду аммония?

14.5. Получение и свойства свинца

! Соединения свинца ядовиты, поэтому после проведения опытов с ними необходимо тщательно вымыть руки теплой водой с мылом.

1. Налейте в пробирку раствор нитрата свинца и опустите в него пластинку (или гранулу) цинка.

2. Подействуйте на полученный свинец разбавленными (~1 М) растворами соляной, азотной и уксусной кислот, а также 20%-м раствором гидроксида натрия. Опыты проводите сначала при комнатной температуре, а затем при нагревании.

3. Подействуйте на свинец: а) смесью уксусной кислоты и пероксида водорода; б) смесью раствора гидроксида натрия и пероксида водорода.

Напишите уравнения реакций и объясните происходящие явления.

- Какое положение занимает свинец в ряду стандартных электродных потенциалов металлов?

14.6. Оксиды и гидроксиды свинца

Свойства оксидов свинца

1. Поместите в три пробирки оксид свинца(+2), сурик и оксид свинца(+4). В каждую пробирку налейте по 3–5 мл концентри-

рованной соляной кислоты (*в вытяжном шкафу!*). Перемешайте содержимое пробирок и нагрейте.

2. Испытайте действие 10%-го и концентрированного растворов гидроксида натрия на оксид свинца(+2).

3. Поместите в пробирку свинцовый сурик и добавьте 3–5 мл 10%-го раствора азотной кислоты. Содержимое пробирки перемешайте. После завершения реакции декантируйте раствор, а осадок поместите в две пробирки. Испытайте действие 10%-го раствора гидроксида натрия на осадок в первой пробирке. Во вторую пробирку прилейте концентрированный раствор гидроксида натрия.

4. Налейте в пробирку 5 мл воды, добавьте 2–3 капли раствора нитрата марганца и 2–3 капли 10%-го раствора азотной кислоты. В раствор внесите 0,5 г оксида свинца(+4) и нагрейте смесь. Отметьте окраску раствора после отстаивания осадка.

- Какие свойства проявляют в этих реакции оксиды свинца?
- Каков состав глѐта, массикота, оксида свинца(+4) и сурика? Какие степени окисления имеет свинец в этих оксидах?

Гидроксид свинца(+2)

Осадите в двух пробирках гидроксид свинца(+2) действием 1 М раствора гидроксида натрия на раствор нитрата или ацетата свинца. Добавьте к осадку в первой пробирке 10%-й раствор азотной кислоты, во вторую пробирку прилейте избыток концентрированного раствора гидроксида натрия.

- Какими свойствами обладает гидроксид свинца(+2)?

14.7. Соли свинца

Иодид свинца

В пробирку с 1 мл раствора ацетата свинца, подкисленного уксусной кислотой, добавьте 1 мл раствора иодида калия.

Налейте в стакан 15 мл воды, подкислите уксусной кислотой и нагрейте на треножнике с сеткой почти до кипения. Растворите небольшими порциями в горячей подкисленной воде полученный осадок иодида свинца. Отметьте цвет раствора. Оставьте раствор охлаждаться на воздухе в естественных условиях и наблюдайте за выпадением золотистых кристаллов иодида свинца («золотой дождь»). Рассмотрите форму кристаллов под микроскопом.

- Как изменяется растворимость иодида свинца с температурой?

Сульфид свинца

В пробирку с 1–2 мл раствора ацетата или нитрата свинца добавьте 1–2 мл свежеприготовленного раствора сульфида аммония (*в вытяжном шкафу!*).

Осадок отделите и промойте путем декантации. Небольшие количества сульфида свинца поместите в три пробирки. В одну из пробирок добавьте разбавленную (~1 М), а в другую — концентрированную азотную кислоту, в третью — избыток раствора сульфида аммония.

- Образует ли свинец тиосоли?

14.8. Синтезы по теме «Олово, свинец»

14.8.1. Оксид олова(+2)

Способ 1

К 10 мл раствора хлорида олова(+2) в стакане прилейте водный раствор аммиака до полного осаждения гидроксида олова(+2), раствор слейте. Осадок промойте водой, отфильтруйте на воронке с бумажным фильтром и высушите в сушильном шкафу при 70–80 °С. Взвесьте полученный гидроксид олова(+2).

Соберите прибор, изображенный на рисунке 14.1. Поместите полученный гидроксид олова(+2) в фарфоровую лодочку 3 и внесите в реакционную трубку 2.

Установите ток сухого азота или аргона из кислородной подушки через прибор и осторожно прогрейте реакционную трубку с веществом пламенем газовой горелки. Усиьте нагрев и прокалите гидроксид олова(+2) до прекращения выделения водя-

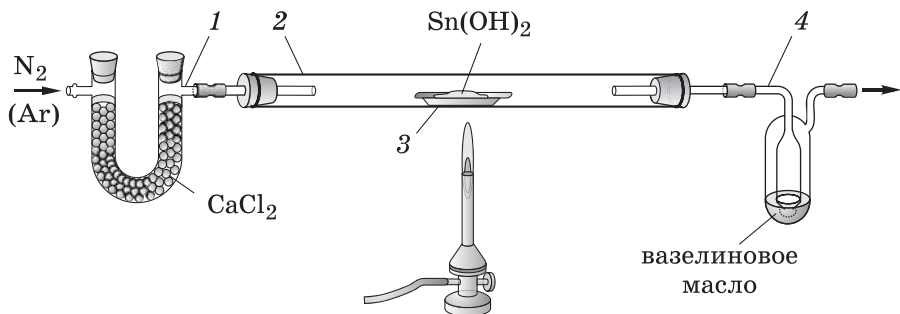


Рис. 14.1. Прибор для получения оксида олова(+2):

1 — U-образная трубка с безводным хлоридом кальция; 2 — трубка реакционная; 3 — лодочка с веществом; 4 — промывалка с вазелиновым маслом

ных паров. Отметьте изменение окраски вещества в трубке. После охлаждения реакционной трубки до комнатной температуры (в токе азота или аргона) извлеките лодочку и поместите полученное вещество во взвешенную пробирку или бюкс.

Способ 2

Растворите 2 г дигидрата хлорида олова(+2) в возможно меньшем количестве горячей концентрированной соляной кислоты (*в вытяжном шкафу!*) и осторожно, небольшими порциями добавьте к полученному раствору насыщенный раствор карбоната натрия до щелочной реакции среды (используйте для анализа проб полученной смеси раствор фенолфталеина или фенолфталеиновую индикаторную бумагу). Затем реакционный стакан, содержащий белый осадок гидроксида олова(+2) под маточным раствором, поставьте на треножник с асбестовой сеткой и нагревайте смесь при слабом кипении в течение 2–3 ч до образования синего оксида олова(+2). Отделите полученное вещество на воронке с бумажным фильтром и высушите в сушильном шкафу при 110 °С.

14.8.2. Тетрахлорид олова

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 14.2.

В реакционную пробирку 5 поместите 2 г гранулированного олова.

Поместите в колбу Вюрца 1 смесь перманганата калия и хлорида натрия. Добавляйте к этой смеси по каплям концентрированную соляную кислоту для получения тока хлора (см. в разд. 4.5. «Получение и очистка хлора»).

Установите ток хлора так, чтобы через промывалки 4 проскакивало 1–2 пузырька в 1 с. Если реакция не начинается при комнатной температуре, слегка подогрейте реакционную пробирку. Хлорирование ведите до расходования всего олова. Полученное вещество перелейте во взвешенную пробирку с пробкой и взвесьте.

14.8.3. Гексахлоростаннат(+4) аммония

Приготовьте 60%-й раствор тетрахлорида олова в концентрированной соляной кислоте. Для этого прилейте к тетрахлориду

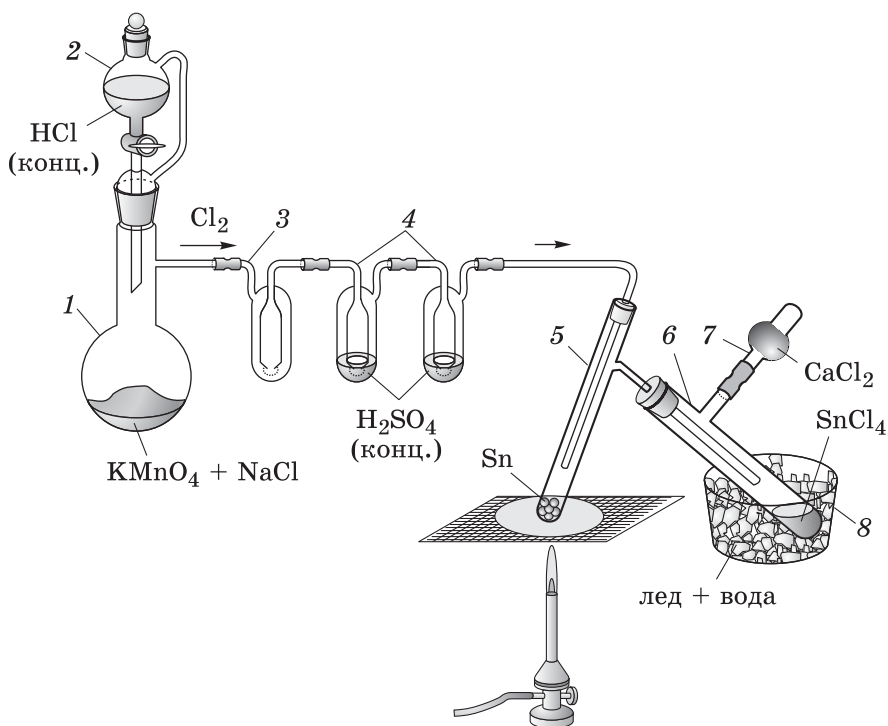


Рис. 14.2. Прибор для получения тетрахлорида олова:

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — предохранительная (обратная) промывалка; 4, 10 — промывалки с концентрированной серной кислотой; 5 — реакционная пробирка Вюрца; 6 — пробирка Вюрца (приемник); 7 — хлоркальцевая трубка с безводным хлоридом кальция или оксидом фосфора(+5) на стекловате; 8 — баня со льдом и водой

олова, полученному по рассмотренной в разделе 14.8.2 методике, рассчитанное количество концентрированной соляной кислоты (в вытяжном шкафу, в защитных очках и перчатках!).

Приготовьте насыщенный при комнатной температуре раствор эквимольного количества хлорида аммония, подогрейте до 40 °С и прилейте к раствору гексахлорооловянной кислоты. Реакционную смесь охладите в бане со льдом и водой. Выпавший кристаллический осадок отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном. Осадок гексахлороостанната(+4) аммония промойте на фильтре минимальным количеством концентрированной соляной кислоты, охлажденной в бане со льдом, затем высушите на фильтровальной бумаге.

Сухое вещество перенесите в пробирку, закройте пробкой и взвесьте.

14.8.4. Тригидрат ацетата свинца(+2)

Нагрейте в химическом стакане 10 мл 50%-го раствора уксусной кислоты и добавьте 3 г карбоната свинца(+2) (*в вытяжном шкафу!*). Раствор охладите до комнатной температуры и профильтруйте на воронке с бумажным фильтром. Добавьте к фильтрату 1 мл 50%-й уксусной кислоты. Полученный раствор перелейте в химический стакан, поставьте на треножник с асбестовой сеткой, упарьте до половины первоначального объема и оставьте медленно охлаждаться до комнатной температуры.

Выпавшие кристаллы отделите при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном и просушите на фильтровальной бумаге. Взвесьте полученное вещество.

14.8.5. Кристаллический сульфид свинца

Приготовьте в химическом стакане раствор 3,8 г нитрата свинца в 50 мл воды. Небольшими порциями добавляйте твердый гидроксид натрия (*в защитных очках!*) до полного растворения выпавшего первоначально осадка гидроксида свинца. Стакан с раствором поставьте на треножник с асбестовой сеткой и добавьте раствор 0,9 г тиомочевины в 50 мл дистиллированной воды. Нагрейте содержимое стакана при непрерывном перемешивании (*в защитных очках!*). При 38–40 °С жидкость начинает окрашиваться в коричневый цвет, а при ~50 °С на дне и на стенках образуется блестящее зеркало сульфида свинца.

Для полного выделения сульфида свинца кипятите жидкость в течение 10 мин. После охлаждения до комнатной температуры профильтруйте раствор на воронке с бумажным фильтром. Кристаллический осадок промойте на фильтре холодной водой, затем высушите на фильтровальной бумаге и взвесьте. Полученные кристаллы рассмотрите под микроскопом.

14.8.6. Оксид свинца(+2) (желтая и красная модификации)

Соберите прибор, изображенный на рисунке 14.3. В фарфоровую лодочку 4 поместите 1 г карбоната свинца.

Для получения красной (низкотемпературной) модификации оксида свинца лодочку с веществом нагрейте до 490 °С в токе азота или аргона из «кислородной» подушки до прекращения

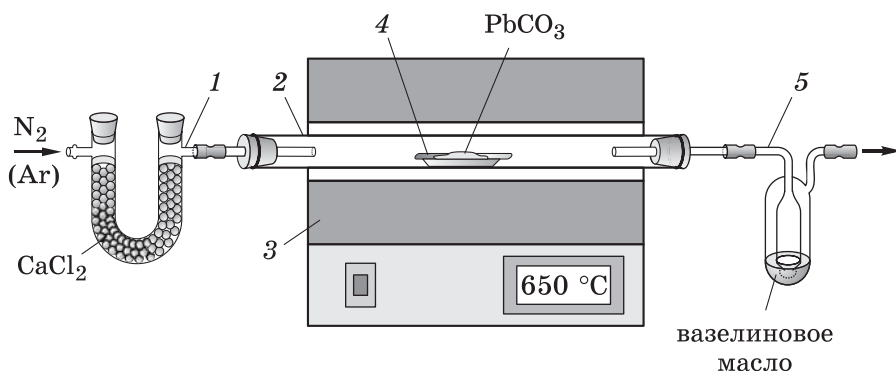


Рис. 14.3. Прибор для получения оксида свинца(+2):

1 — U-образная трубка с безводным хлоридом кальция; 2 — трубка реакционная; 3 — печь; 4 — лодочка с веществом; 5 — промывалка с вазелиновым маслом

выделения углекислого газа (докажите это химическим способом), затем выключите печь. После охлаждения до комнатной температуры извлеките вещество из реакционной трубки, поместите в пробирку и взвесьте.

Для получения желтой (высокотемпературной) модификации оксида свинца нагревание ведите при 650 °C до прекращения выделения углекислого газа. После охлаждения до комнатной температуры извлеките вещество из реакционной трубки, поместите в пробирку и взвесьте.

14.8.7. Свинцовый сурик

Поместите в фарфоровый тигель 2–3 г карбоната свинца и прокалите в тигельной печи 2–3 ч при 450–500 °C. Полученное вещество поместите в стакан с раствором ацетата свинца и нагрейте до кипения для растворения примеси оксида свинца(+2). Осадок отфильтруйте на воронке с бумажным фильтром, промойте на фильтре горячей водой, затем высушите в сушильном шкафу при 100 °C и взвесьте.

14.8.8. Оксид свинца(+4)

Приготовьте в двух стаканах объемом 50 мл раствор 3 г тригидрата ацетата свинца(+2) в 5 мл воды и равный по объему насыщенный раствор хлорной извести. Раствор ацетата свинца подогрейте до 50 °C на треножнике с асбестовой сеткой и при-

лейте при непрерывном перемешивании к раствору хлорной извести. Реакционную смесь нагрейте до 100–110 °С. Выделившийся осадок промойте вначале водой методом декантации, затем 1 М раствором азотной кислоты. Полученное вещество отфильтруйте на воронке с бумажным фильтром, промойте на фильтре 2–3 раза водой, затем высушите на фильтровальной бумаге и взвесьте.

14.9. Практикум повышенной сложности по теме «Олово, свинец»

14.9.1. Тетраиодид олова

Соберите прибор, изображенный на рисунке 10.3, а (см. разд. 10.4.4, способ 3). В колбу 1 поместите 0,7 г тонконарезанного листового олова и добавьте измельченный иод, взятый в 15%-м недостатке. Прилейте 25 мл осушенного тетрахлорида углерода. Подайте воду в холодильник. Реакционную смесь в колбе 1 кипятите до исчезновения малиновой и появления коричнево-оранжевой окраски раствора.

Соберите на лабораторном столе прибор для отгонки растворителя (рис. 14.4). Поместите в реактор 4 несколько запаянных

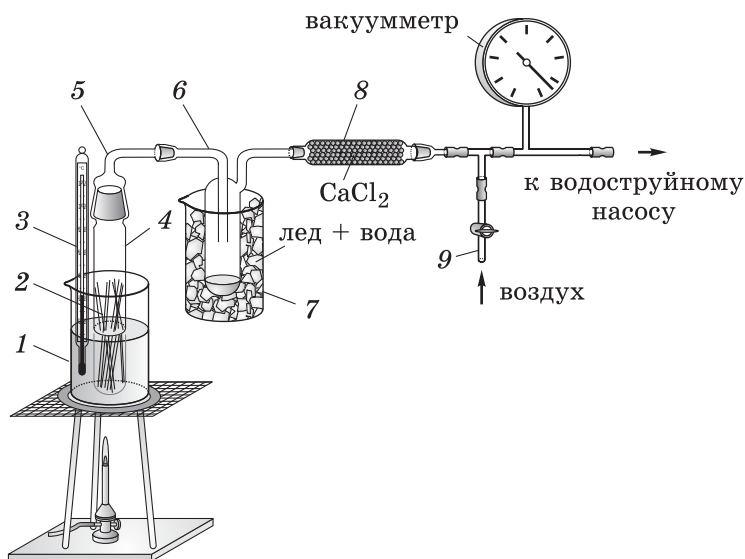


Рис. 14.4. Прибор для отгонки растворителя:

1 — стакан с водой (водяная баня); 2 — капилляры; 3 — термометр; 4 — реактор; 5 — крышка реактора с отводом; 6 — охлаждаемая ловушка; 7 — стакан со льдом и водой; 8 — колонка с безводным хлоридом кальция; 9 — кран для запуска воздуха

с одного конца капилляров. Смажьте шлифы тонким слоем вакуумной смазки.

Раствор перелейте в реактор 4 и закройте крышкой 5. Включите водоструйный насос и осторожно нагрейте воду в водяной бане 1, следя за кипением жидкости в реакторе. Если кипение становится слишком бурным, сделайте небольшую паузу в нагревании до нормализации режима кипения. Отгонка растворителя обычно завершается при нагревании воды в бане 1 до 50–60 °С.

После охлаждения реактора до комнатной температуры запустите воздух в прибор и выключите насос. Сухое вещество перенесите в пробирку с пробкой, взвесьте и рассчитайте выход (в %) относительно взятого количества иода.

Небольшое количество полученного вещества поместите в пробирку с водой и нагрейте. Определите рН раствора с помощью универсальной индикаторной бумаги. К части раствора добавьте 1–2 капли раствора нитрата серебра. Напишите уравнения протекающих реакций.

14.9.2. Тетраацетат свинца

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 14.5. Хлоркальциевую трубку 7 заполните гранулированным безводным хлоридом кальция.

Приготовьте вымороженную (ледяную) уксусную кислоту. Для этого налейте в небольшую коническую колбу 20–30 мл концентрированной уксусной кислоты и охладите колбу в кристаллизаторе со льдом (температура плавления кислоты ~17 °С). Дождитесь частичного замерзания кислоты и слейте с ее поверхности жидкость. Оставьте кислоту при комнатной температуре, пока она не превратится в жидкость, затем повторите вымораживание.

15 мл полученной кислоты внесите в колбу 1, добавьте 17 мл свежеперегнанного уксусного ангидрида.

В изогнутый «палец» 5 поместите 6,5 г предварительно высушенного при 200 °С в течение 1,5 ч свинцового сурика. Колбу 1 закройте теплоизолирующим экраном 2. Нагрейте раствор до 40 °С, затем при энергичном перемешивании внесите в колбу 1 небольшими порциями сурик из «пальца» 5 с такой скоростью, чтобы температура реакционной смеси не повышалась выше 58 °С. Синтез ведите при 56–58 °С и непрерывном перемешивании.

После растворения всего сурика раствор из колбы 1 перелейте в сухую коническую колбу и закройте пробкой с хлоркальциевой

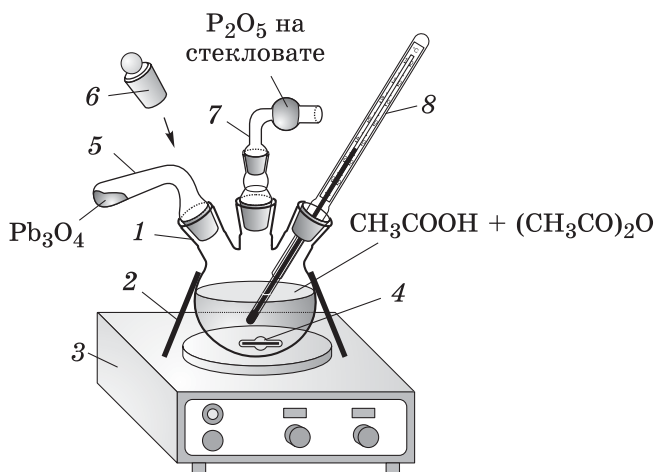


Рис. 14.5. Прибор для получения тетраацетата свинца:

1 — колба трехгорлая; 2 — теплоизолирующий экран; 3 — магнитная мешалка с нагревателем; 4 — перемешивающий стержень; 5 — «палец»; 6 — стеклянная пробка; 7 — хлоркальцевая трубка с оксидом фосфора(+5) на стекловате; 8 — термометр

трубкой. Колбу с раствором охладите вначале на воздухе, а затем в бане со льдом и водой.

Выпавшие игольчатые кристаллы вместе с раствором быстро перенесите на воронку со стеклянным фильтрующим дном, воронку закройте резиновой пробкой со стеклянной трубкой. Подсоедините к трубке кислородную подушку, заполненную аргоном, и проведите фильтрацию в токе аргона.

Перенесите осадок в заранее взвешенную пробирку с пробкой, заполненную аргоном. Взвесьте пробирку с веществом. Рассмотрите полученные кристаллы под микроскопом.

14.9.3. Гексахлорплюмбат(+4) аммония

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 14.6.

Разотрите в фарфоровой ступке 1,5 г хлорида свинца(+2) в 5–7 мл концентрированной соляной кислоты (*в вытяжном шкафу!*). Образовавшуюся суспензию вылейте в реактор 5. Оставшийся в ступке осадок вновь разотрите в 5–7 мл концентрированной соляной кислоты, полученную смесь также вылейте в реактор 5. Трубка 4 должна быть погружена в суспензию хлорида свинца(+2) с соляной кислотой.

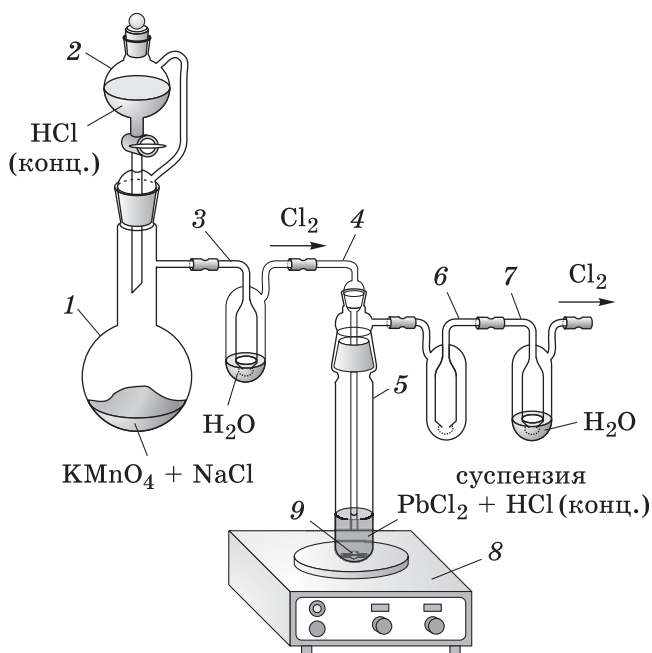


Рис. 14.6. Прибор для получения гексахлорсвинцовой кислоты: 1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3, 7 — промывалки с водой; 4 — стеклянная трубка; 5 — реактор; 6 — предохранительная (обратная) промывалка; 8 — магнитная мешалка; 9 — перемешивающий стержень

Для более интенсивного перемешивания суспензии в реакторе можно использовать магнитную мешалку 8.

Поместите в колбу Вюрца 1 смесь перманганата калия и хлорида натрия. Добавляйте к этой смеси по каплям концентрированную соляную кислоту для получения тока хлора.

Установите ток хлора 1–2 пузырька в 1 с через промывалку 7. После растворения осадка хлорида свинца(+2) и приобретения раствором характерной желтой окраски продолжайте пропускать хлор еще 30–40 мин.

Полученный раствор перенесите в стакан, прилейте раствор 2 г хлорида аммония в 20 мл воды и охладите в бане со льдом и водой.

Выпавшие желтые кристаллы гексахлороплюмбата(+4) аммония отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, затем высушите на фильтровальной бумаге. Сухое вещество перенесите в пробирку с пробкой и взвесьте.

15. АЗОТ

- ! Аммиак и оксиды азота, кроме закиси азота, раздражающе действуют на дыхательные пути. Вдыхание паров оксидов азота может вызвать отек легких. Работу с этими веществами проводите только в вытяжном шкафу!

15.1. Получение и свойства аммиака

1. Смешайте 0,5 г хлорида аммония и 0,5 г гидроксида кальция в небольшой фарфоровой чашке стеклянной палочкой. Смесь перенесите в пробирку и подогрейте. Поднесите к пробирке полоску фильтровальной бумаги, смоченную концентрированной соляной кислотой.

2. Налейте в пробирку 2 мл разбавленного раствора аммиака и нагрейте. Поднесите к пробирке смоченную водой полоску универсальной индикаторной бумаги.

3. Налейте в пробирку 2 мл 25%-го раствора аммиака и опустите в него небольшой кусочек гидроксида натрия. Отметьте наблюдаемые явления.

- Как изменяется растворимость аммиака в воде при нагревании?
- Почему водный раствор аммиака является слабым электролитом?
- Объясните выделение аммиака из водного раствора при добавлении твердой щелочи.

15.2. Соли аммония

Термическая устойчивость солей аммония

1. *Аммонийные соли фосфорной кислоты.* Поместите в пробирку несколько кристаллов одной из аммонийных солей фосфорной кислоты и нагрейте в пламени газовой горелки. Поднесите к пробирке полоску универсальной индикаторной бумаги, смоченную водой.

2. *Сульфат аммония.* Внесите в пробирку несколько кристаллов сульфата аммония и сильно нагрейте. Поднесите к пробирке поочередно полоску универсальной индикаторной бумаги, смоченную водой, и полоску фильтровальной бумаги, смоченную подкисленным раствором перманганата калия.

3. *Нитрат аммония.* В маленьком фарфоровом тигле прокалите несколько кристаллов нитрата аммония.

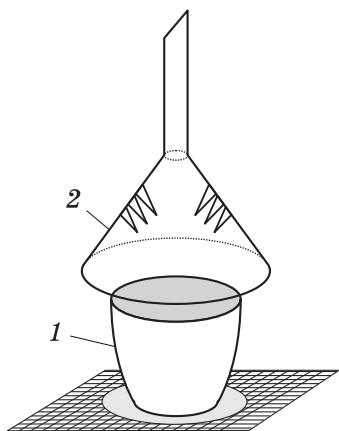


Рис. 15.1. Возгонка хлорида аммония:
1 — тигель фарфоровый; 2 — воронка

4. *Хлорид аммония.* Поместите 0,2–0,3 г хлорида аммония в фарфоровый тигель с установленной над ним перевернутой химической воронкой (рис. 15.1). Нагрейте тигель. Рассмотрите форму возогнанных кристаллов под микроскопом.

Поместите на дно пробирки 0,2–0,3 г хлорида аммония и нагрейте в пламени газовой горелки. Поднесите к пробирке полоску универсальной индикаторной бумаги. Отметьте изменение окраски индикаторной бумаги при возгонке хлорида аммония.

5. Поместите 0,2–0,3 г карбоната аммония в фарфоровый тигель 1 с установленной над ним перевернутой химической воронкой 2 (рис. 15.1). Нагрейте тигель.

Напишите уравнения реакций.

- Как разлагаются при нагревании нитрит и бихромат аммония?
- Чем объясняется разный характер разложения аммонийных солей?
- Какие соли аммония возгоняются?

15.3. Соли гидразиния и гидроксиламмония

1. В две пробирки налейте по 2 мл воды и внесите в каждую по несколько кристаллов сульфата гидразиния. Прибавьте несколько капель иодной воды к раствору в одной из пробирок. В другую пробирку добавьте раствор хлорида меди(+2) и 20%-й раствор гидроксида натрия, затем осторожно нагрейте содержимое пробирки (в защитных очках!).

2. Растворите несколько кристаллов хлорида гидроксиламмония в 4–5 мл воды, полученный раствор разлейте в две пробирки. Определите pH раствора с помощью универсальной индикаторной бумаги. Прилейте несколько капель иодной воды в первую пробирку. Во вторую пробирку добавьте несколько капель подкисленного раствора перманганата калия.

3. Налейте в две пробирки по 3 мл раствора сульфата титана(+3) (его можно получить действием цинка на серноокислый раствор сульфата титанила) или солянокислого раствора хлорида титана(+3). Внесите в одну из пробирок несколько кристаллов сульфата гидразиния. В другую пробирку добавьте немного кристаллического хлорида гидроксиламмония.

Напишите уравнения реакций и объясните наблюдаемые явления.

- Какие свойства проявляют эти соединения в проведенных опытах?
- Какое строение имеют гидразин, сульфат гидразиния, гидроксиламин и хлорид гидроксиламмония?

15.4. Азотистая кислота и ее соли

1. Растворите 0,3 г нитрита калия в 2–3 мл воды. Охладите раствор в бане со льдом и прибавьте 2–3 мл охлажденной во льду 30%-й серной кислоты (*в защитных очках!*). Отметьте изменение окраски раствора.

2. Налейте в две пробирки по 2–3 мл раствора нитрита калия. В одну пробирку добавьте немного подкисленного серной кислотой раствора перманганата калия, в другую — подкисленного серной кислотой раствора дихромата калия.

3. К 2–3 мл подкисленного серной кислотой раствора иодида калия добавьте раствор нитрита калия. В другую пробирку с подкисленным раствором иодида калия добавьте несколько капель 3%-й азотной кислоты.

4. К 2–3 мл подкисленного серной кислотой раствора бромиды калия добавьте раствор нитрита калия и несколько капель тетрахлорида углерода, затем энергично встряхните.

Напишите уравнения реакций и объясните наблюдаемые явления.

- Сравните окислительную способность растворов азотной и азотистой кислот равной концентрации.

15.5. Азотная кислота и ее соли

Азотная кислота

1. Поместите в пробирку немного магния и добавьте 2–3 мл 3%-й азотной кислоты. Проверьте полученный раствор на наличие ионов аммония.

2. Поместите в пробирку 2–3 кусочка цинка. Прилейте 1–2 мл 30%-го раствора азотной кислоты.

- Как изменяется состав продуктов реакции азотной кислоты с металлами в зависимости от их активности и концентрации азотной кислоты?

«Царская водка»

Смешайте в пробирке 1 мл концентрированной азотной кислоты с 3 мл концентрированной соляной кислоты. Отметьте изменение окраски раствора при стоянии (через 10–15 мин).

Испытайте действие «царской водки» на осадки сульфида свинца(+2) и сульфида сурьмы(+3), полученные действием раствора сульфида аммония на растворы соответствующих солей.

- Почему «царская водка» более сильный окислитель, чем азотная кислота?
- Напишите реакцию взаимодействия сульфида ртути с «царской водкой».

Термическая устойчивость нитратов

1. Расплавьте в фарфоровом тигле 0,5 г нитрата калия на газовой горелке, затем сильно нагрейте тигель до красного каления и выдержите в этих условия несколько минут. Охладите тигель до комнатной температуры. Застывший расплав растворите в воде. Определите pH раствора с помощью универсальной индикаторной бумаги. Добавьте полученный раствор в пробирку с 2–3 мл раствора иодида калия, подкисленного 1–2 каплями 10%-го раствора серной кислоты.

2. В фарфоровом тигле прокалите несколько кристаллов нитрата бария. После охлаждения растворите содержимое тигля в небольшом количестве воды (~5 мл). Определите pH раствора с помощью универсальной индикаторной бумаги. Добавьте полученный раствор в пробирку с 2–3 мл раствора иодида калия, подкисленного 1–2 каплями 10%-го раствора азотной кислоты.

3. В фарфоровый тигель поместите несколько кристаллов нитрата меди(+2) и прокалите в пламени газовой горелки.

- Какие продукты могут образоваться при термическом разложении нитратов щелочных и щелочноземельных металлов?
- Какие продукты образуются при прокаливании нитрата серебра, нитрата ртути(+2)? Напишите уравнения реакций.

15.6. Синтезы по теме «Азот»

15.6.1. Оксид азота(+2)

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 15.2. Поместите в колбу Вюрца 5 г медных стружек.

Добавьте 30%-ю азотную кислоту по каплям из капельной воронки 2 к медным стружкам. Установите ровный ток оксида азота(+2). Соберите оксид азота(+2) в пробирку под водой. Откройте пробирку на воздухе (*в вытяжном шкафу!*).

Пропустите ток оксида азота(+2) через 2–3 мл концентрированной азотной кислоты в пробирке, слегка подогретой в стакане с теплой водой, а затем через 3–5 мл свежеприготовленного насыщенного раствора соли Мора в другой пробирке. Напишите уравнения реакций.

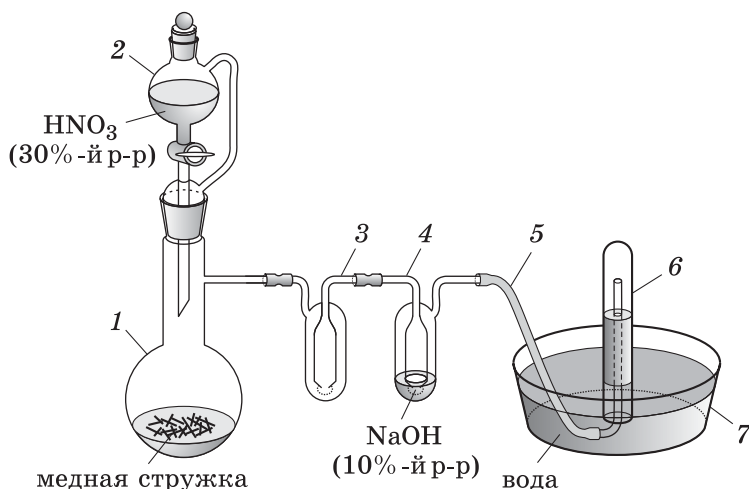


Рис. 15.2. Прибор для получения оксида азота(+2):

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — предохранительная (обратная) промывалка; 4 — промывалка с 10%-м раствором гидроксида натрия; 5 — резиновая трубка; 6 — пробирка; 7 — кристаллизатор

15.6.2. Оксид азота(+3)

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 15.3. Поместите 2–3 г крахмала на дно колбы Вюрца 1.

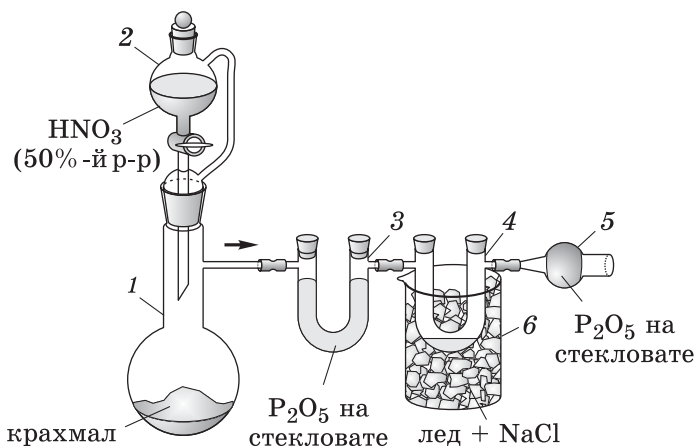


Рис. 15.3. Прибор для получения оксида азота(+3):

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — U-образная трубка с оксидом фосфора(+5) на стекловате; 4 — U-образная трубка-приемник; 5 — хлоркальциевая трубка с оксидом фосфора(+5) на стекловате; 6 — баня со льдом и хлоридом натрия

Пустую сухую U-образную трубку-приемник 4 погрузите в охлаждающую смесь (лед и твердый хлорид натрия). Дождитесь охлаждения приемника 4 ниже -10°C . Добавьте по каплям 50%-ю азотную кислоту к крахмалу. Если реакция не начинается, осторожно подогрейте колбу с реакционной смесью. Отметьте цвет жидкости, конденсирующейся в приемнике 4.

Отсоедините U-образную трубку с жидким оксидом азота(+3), поместите в нее кусочек льда и проведите с получившимся холодным раствором опыты, характеризующие свойства соединений азота(+3).

15.6.3. Оксид азота(+4)

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 15.4. В колбу Вюрца 1 поместите 1–2 г медных стружек.

Погрузите пустую U-образную трубку-приемник 5 в баню 6 с охлаждающей смесью льда и хлорида натрия. Температура охлаждающей смеси должна быть не выше -10°C . Осторожно

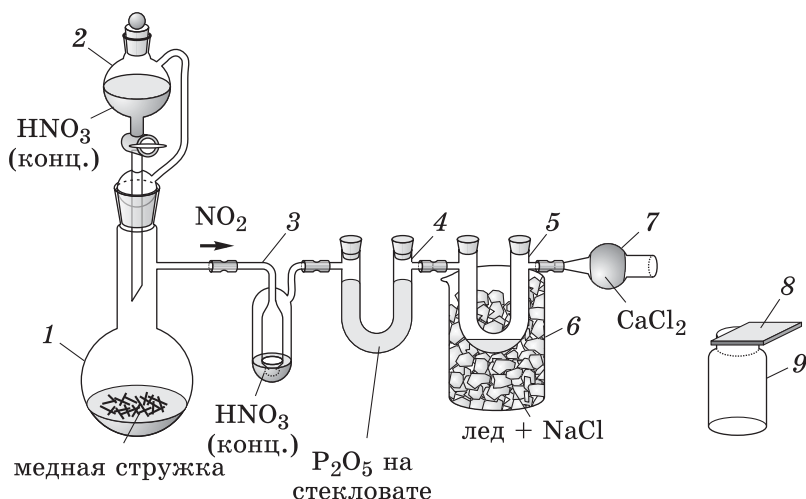


Рис. 15.4. Прибор для получения оксида азота(+4):

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — промывалка с азотной кислотой; 4 — U-образная трубка с оксидом фосфора(+5) на стекловате; 5 — U-образная трубка-приемник; 6 — баня с охлаждающей смесью; 7 — хлоркальциевая трубка с безводным хлоридом кальция; 8 — стекло; 9 — склянка

добавляйте концентрированную азотную кислоту из капельной воронки 2 в колбу 1. Отметьте цвет жидкости, конденсирующейся в приемнике 5.

Отсоедините приемник с жидким диоксидом азота от прибора, быстро вылейте полученную жидкость в склянку 9 и прикройте стеклом 8. После полного испарения оксида азота(+4) сдвиньте стекло и внесите в склянку тлеющую лучинку.

15.6.4. Дымящая азотная кислота

❗ Концентрированная, а тем более дымящая (безводная) азотная кислота вызывает тяжелые ожоги кожи. Опыты с концентрированной азотной кислотой следует проводить только в вытяжном шкафу, в перчатках и очках (маске).

Соберите прибор, изображенный на рисунке 15.5. В реторту 1 поместите 20 г нитрата натрия и прилейте 20 мл 96%-го раствора серной кислоты. Закройте реторту асбестовой пробкой 2. Баню 4 для охлаждения колбы-приемника 3 заполните льдом (снегом) с водой.

Осторожно нагрейте реторту 1 в пламени горелки. При образовании в реторте большого количества пены или появления бу-

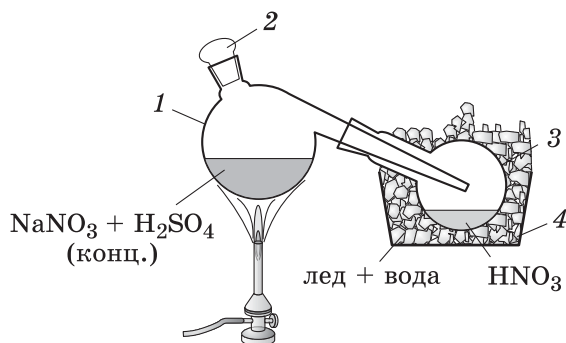


Рис. 15.5. Прибор для получения дымящей азотной кислоты:
1 — реторта; 2 — асбестовая пробка; 3 — колба-приемник; 4 — баня со льдом

рых паров ослабьте нагревание. Когда в приемнике 3 соберется 10–15 мл азотной кислоты, уберите горелку.

Закройте колбу-приемник 3 притертой стеклянной пробкой и сохраните для дальнейших опытов.

Напишите уравнение реакции.

Изучение свойств дымящей азотной кислоты

1. Налейте в фарфоровую чашку 1–2 мл свежеприготовленной дымящей азотной кислоты. Добавьте 1–2 капли концентрированной серной кислоты и осторожно прибавьте к смеси при помощи длинной трубки или пипетки 2–3 капли скипидара (*в маске или очках!*).

2. Налейте в три пробирки по 1–2 мл свежеприготовленной дымящей азотной кислоты. В первую пробирку опустите кусочек серы и нагрейте кислоту до кипения. Охладите пробирку и вылейте содержимое в стакан с водой. Докажите присутствие в полученном растворе серной кислоты.

Пропустите ток сероводорода через кислоту, находящуюся во второй пробирке.

В третью пробирку внесите небольшое количество сульфида меди(+2).

3. Налейте в маленькую фарфоровую чашку 1 мл дымящей азотной кислоты и испытайте ее действие на олово.

4. В одну пробирку поместите небольшой кусочек висмута, в другую — свинца и прилейте по 1 мл дымящей азотной кислоты. Затем добавьте в каждую пробирку несколько капель воды.

- Что такое пассивация?

15.6.5. Хлорид нитрозила

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 15.6.

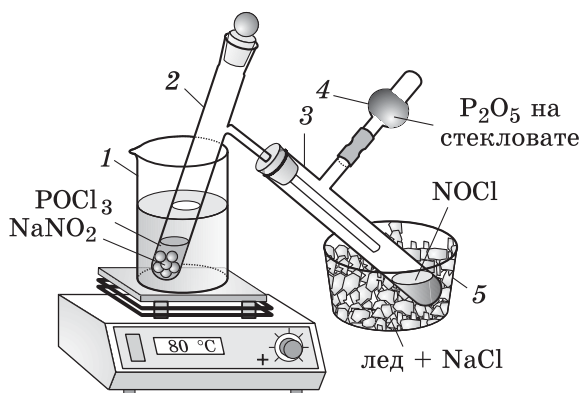


Рис. 15.6. Прибор для получения хлорида нитрозила:

1 — водяная баня (стакан с водой); 2 — пробирка Вюрца; 3 — пробирка-приемник; 4 — хлоркальцевая трубка с оксидом фосфора(+5) на стекловате; 5 — баня со льдом и хлоридом натрия

На дно небольшой пробирки Вюрца 2 поместите 3 г предварительно высушенного в течение 1 ч при 150 °С нитрита натрия. Пробирку-приемник 3 охладите в бане с охлаждающей смесью льда и твердого хлорида натрия 5. Температура охлаждающей смеси должна быть не выше –10 °С. Прилейте 1 мл оксотрихлорида фосфора(+5) в пробирку Вюрца 2 и тотчас закройте пробкой.

! Наденьте защитные очки! Возможен выброс реакционной массы.

Осторожно нагрейте содержимое пробирки 2 на водяной бане 1 и соберите образующийся хлорид нитрозила в приемник 3.

Проведите идентификацию полученного вещества. Для этого несколько капель хлорида нитрозила внесите в пробирку с небольшим количеством воды и определите pH полученного раствора. Затем разделите раствор на две части и добавьте несколько капель раствора иодида калия к одной из них. К другой части добавьте 1–2 капли раствора нитрата серебра.

- С помощью каких еще способов может быть получен хлорид нитрозила?

15.6.6. Гексахлоростаннат(+4) нитрозония

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 15.7. К 5–6 мл тетрахлорида олова, полученного по приведенной в разделе 14.8.2 методике, прилейте 10–15 мл осушенного тетрахлорида углерода и поместите раствор в коническую колбу 5.

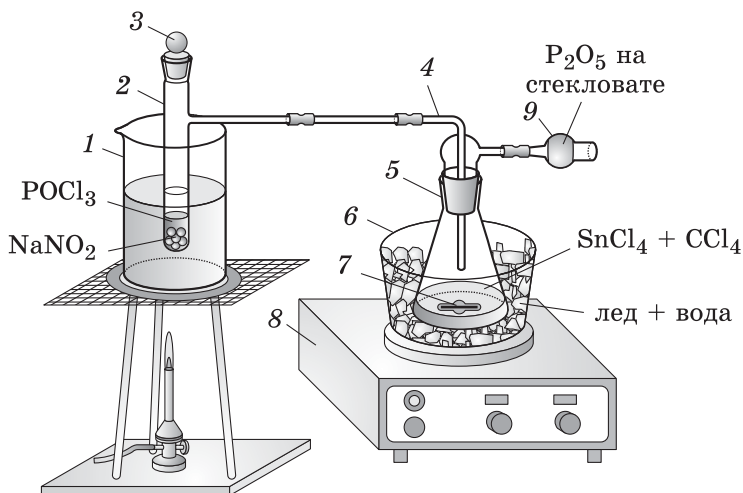


Рис. 15.7. Прибор для получения гексахлоростанната(+4) нитрозония: 1 — водяная баня; 2 — пробирка Вюрца со шлифом; 3 — стеклянная пробка; 4 — изогнутая стеклянная трубка; 5 — колба коническая; 6 — баня со льдом и водой; 7 — перемешивающий стержень; 8 — магнитная мешалка; 9 — хлоркальциевая трубка с оксидом фосфора(+5) на стекловате

В пробирку Вюрца 2 поместите 15 г нитрита натрия, предварительно высушенного в течение 1 ч при 150 °С.

Включите магнитную мешалку в режиме слабого перемешивания. Добавьте в пробирку с нитритом натрия 7 мл оксотрихлорида фосфора (*в защитных очках!*) и тотчас закройте пробкой 3. Осторожно нагрейте содержимое пробирки 2 на водяной бане 1. Нагревание ведите до прекращения выделения хлорида нитрозила.

Выпавшие в колбе 5 кристаллы отделите от раствора на воронке со стеклянным фильтрующим дном при пониженном давлении (*в защитных очках!*). Воронку при фильтровании плотно закройте сверху пластиной из вакуумной резины.

15.7. Практикум повышенной сложности по теме «Азот»

15.7.1. Нитрид магния

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 15.8. Колбу 1 заполните на $\frac{1}{3}$ гранулированным NaOH. Навеску стружек или порошка магния (около 1 г) поместите на короткое время в стакан с разбавленным раствором хлорида аммония для очистки от оксидной пленки, затем промойте последовательно водой, спиртом и высушите на воздухе. Очищенный магний поместите в фарфоровую лодочку 8 и внесите в кварцевую реакционную трубку 6.

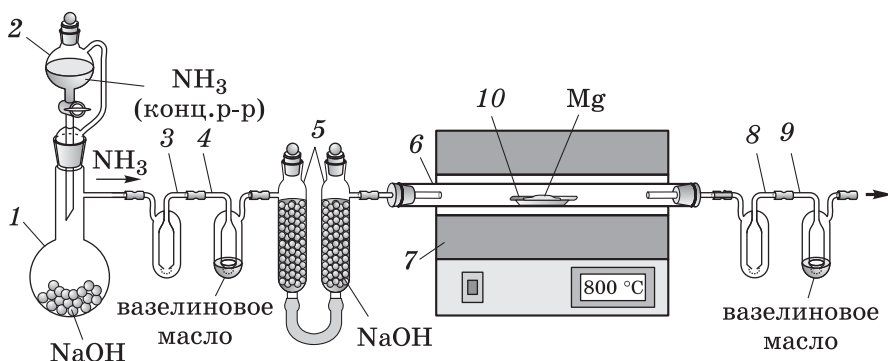


Рис. 15.8. Прибор для получения нитрида магния:

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3, 8 — предохранительные (обратные) промывальки; 4, 9 — промывальки-счетчики пузырьков с вазелиновым маслом; 5 — осушительные колонки с твердой щелочью; 6 — кварцевая реакционная трубка; 7 — трубчатая печь; 10 — лодочка с магнием

Осторожно приоткройте кран капельной воронки 2 и по каплям добавляйте концентрированный раствор аммиака к твердому гидроксиду натрия.

Установите ровный ток аммиака. Повысьте температуру в печи до $850\text{ }^{\circ}\text{C}$ за 30 мин и пропускайте аммиак над магнием 1 ч. После завершения опыта охладите вещество в токе аммиака. Извлеките лодочку с полученным веществом из реактора.

Чтобы убедиться в полноте прохождения реакции, небольшое количество полученного препарата поместите в пробирку и добавьте 1–2 мл разбавленной (1 : 1) соляной кислоты.

Полученное вещество поместите в пробирку, закройте пробкой и взвесьте.

15.7.2. Сульфат гидразиния

Соберите в вытяжном шкафу прибор для получения гипохлорита натрия, изображенный на рисунке 15.9. Приготовьте в конической колбе 5 раствор 4,5 г гидроксида натрия в 9 мл воды (*в защитных очках и перчатках!*). Поместите колбу в охлаждающую смесь и пропустите через раствор интенсивный ток хлора из колбы 1. Температура раствора во время хлорирования не должна превышать 5 °С. Количество поглощенного хлора определяйте путем периодического взвешивания колбы (должно поглотиться 2,8–3,0 г хлора).

Соберите прибор, изображенный на рисунке 15.10. В стакане 2 приготовьте раствор 2,5 г карбамида в 10 мл 35%-го раствора гидроксида натрия, затем добавьте раствор 0,1 г пентагидрата сульфата марганца в 1 мл воды и тщательно перемешайте.

Охладите стакан в бане 1 со смесью льда и воды. Налейте в капельную воронку 4 щелочной раствор гипохлорита натрия и постепенно введите его по каплям в стакан с раствором карбамида при непрерывном перемешивании. Температура в стакане 2 не должна подниматься выше 10 °С. Уберите баню со льдом 1, включите нагрев и медленно нагрейте при непрерывном перемешивании раствор в стакане 2 до 60 °С, затем оставьте охлаждаться.

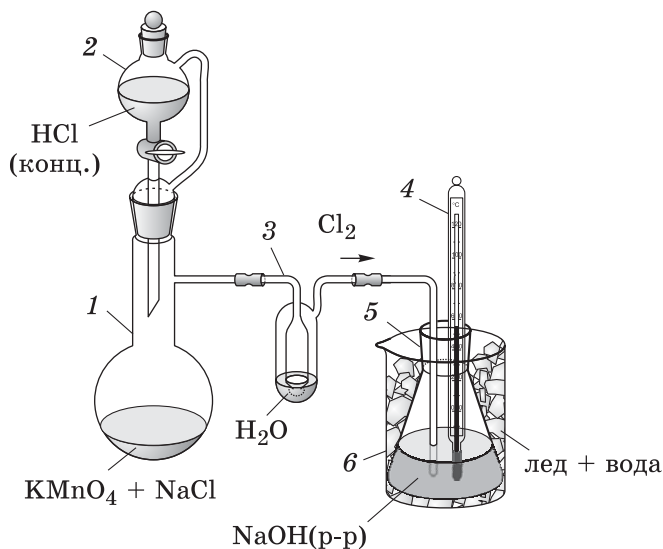


Рис. 15.9. Прибор для получения гипохлорита натрия:

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — промывалка; 4 — термометр; 5 — колба коническая; 6 — стакан со льдом и водой

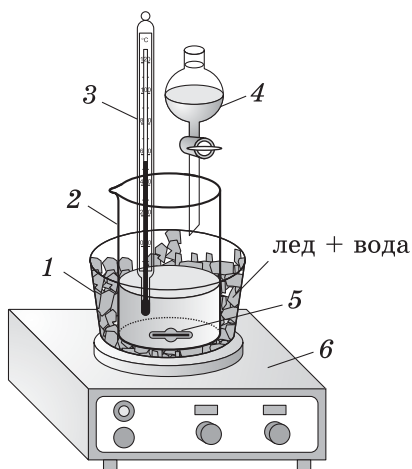


Рис. 15.10. Прибор для получения раствора гидразина:

1 — баня со льдом и водой; 2 — стакан;
3 — термометр; 4 — капельная воронка;
5 — перемешивающий стержень; 6 —
магнитная мешалка

Соберите прибор, изображенный на рисунке 15.10, но без бани с охлаждающей смесью. Полученный на предыдущей стадии синтеза раствор перелейте в капельную воронку 4 и введите по каплям при перемешивании в стакан с 20 мл 50%-го раствора серной кислоты (*в защитных очках!*). После охлаждения раствора до комнатной температуры отфильтруйте (*в защитных очках!*) выпавший осадок сульфата гидразина при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, промойте последовательно два раза охлажденной водой порциями по 5 мл и высушите на фильтровальной бумаге. Полученное вещество перенесите в пробирку, взвесьте.

15.7.3. Хлорид гидроксиламмония

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 15.11. В колбу Вюрца 1 поместите 25 г безводного сульфита натрия и смочите его 2–3 мл воды.

Приготовьте в конической колбе 5 раствор 3,8 г гидроксида натрия в 15 мл воды. Пропустите через раствор ток сернистого газа до кислой реакции раствора.

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 15.10 (см. разд. 15.7.2). Полученный раствор перелейте в капельную воронку 4 и прилейте по каплям при непрерывном перемешивании к охлаждаемому смесью льда и хлорида натрия раствору 3 г нитрита натрия в 5 мл воды. Следите, чтобы температура раствора не поднималась выше 0 °С.

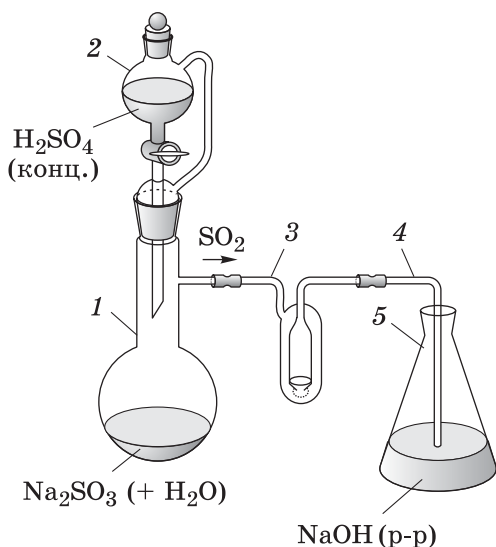


Рис. 15.11. Прибор для насыщения сернистым газом раствора гидроксида натрия:

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — предохранительная промывалка; 4 — изогнутая стеклянная трубка; 5 — коническая колба

После введения всего реагента добавьте в стакан с раствором воду до объема 80 мл. Стакан с раствором поставьте на треножник с асбестовой сеткой и нагрейте до кипения. Проведите полное осаждение сульфат-ионов рассчитанным количеством насыщенного раствора хлорида бария в воде, затем охладите раствор до комнатной температуры.

Отфильтруйте осадок сульфата бария, фильтрат упарьте досуха в фарфоровой чашке на водяной бане. Экстрагируйте хлорид гидроксиламмония этиловым спиртом. Для этого измельченную массу перенесите в колбу прибора для кипячения с обратным холодильником (см. рис. 10.3, а на с. 125) и прилейте 15 мл этилового спирта. Подайте воду в холодильник и нагрейте содержимое колбы до кипения. Жидкость слейте в стакан, а твердую массу вновь обработайте 8 мл спирта. Спиртовые вытяжки объедините и профильтруйте при пониженном давлении через воронку со стеклянным фильтрующим дном. Фильтрат упарьте в фарфоровой чашке на водяной бане до начала кристаллизации. Раствор в чашке охладите. Выпавшие кристаллы отделите на воронке со стеклянным фильтрующим дном при пониженном давлении, поместите в пробирку и взвесьте.

16. ФОСФОР

- ! Все опыты с фосфором проводите только в вытяжном шкафу, в защитных очках и перчатках!
- ! Белый фосфор ядовит и легко воспламеняется. Работа с ним требует особой осторожности. Ожоги, вызываемые фосфором, очень опасны. При попадании белого фосфора на кожу тотчас же удалите его и промойте обожженное место 2%-м раствором нитрата серебра, сульфата меди или перманганата калия.
- ! После проведения опытов с фосфором посуду вначале погрузите на некоторое время в 10%-й раствор сульфата меди, затем вымойте обычным способом. Остатки белого фосфора рекомендуется гасить бромной водой.

16.1. Белый фосфор

Поместите на дно пробирки небольшое количество сухого красного фосфора. Закройте пробирку сверху кусочком ваты и закрепите наклонно в лапке штатива. Осторожно нагрейте слабым пламенем горелки фосфор в пробирке. После конденсации небольшого количества белого фосфора на холодных стенках пробирки перенесите пробирку в темное место для наблюдения свечения. Объясните наблюдаемые явления.

- Каковы условия перехода белого фосфора в красный и обратно?
- Какие существуют еще аллотропные модификации фосфора? Как они могут быть получены?

16.2. Соли фосфорноватистой кислоты

1. Растворите 0,8 г гипофосфита натрия в 8 мл воды и с помощью универсальной индикаторной бумаги определите pH раствора. Полученный раствор разлейте в три пробирки. К раствору в первой пробирке прилейте 1 мл раствора хлорида бария, во вторую пробирку прибавьте несколько капель раствора нитрата серебра, в третью — подкисленный раствор перманганата калия.

2. Поместите в пробирку 1–2 мл концентрированного раствора соли никеля, добавьте к нему концентрированный раствор аммиака до образования сине-фиолетового раствора. Поместите в пробирку кристаллический гипофосфит натрия и осторожно нагрейте дно пробирки.

- На какие свойства гипофосфитов указывают проведенные опыты?
- Какова основность и сила фосфорноватистой кислоты? Изобразите графическую формулу фосфорноватистой кислоты.

16.3. Соли фосфористой кислоты

Добавьте несколько капель трихлорида фосфора к 4–5 мл воды в пробирке и нейтрализуйте раствором карбоната натрия.

Полученный раствор налейте в три пробирки. К раствору в первой пробирке добавьте несколько капель раствора нитрата серебра, затем нагрейте содержимое пробирки. Отметьте изменение цвета осадка.

Во вторую пробирку прилейте 1 М азотную кислоту до кислой реакции, затем прибавьте несколько капель бромной воды.

К раствору в третьей пробирке прилейте раствор хлорида бария.

- На какие свойства фосфитов указывают проведенные реакции?
- Какова основность фосфористой кислоты? Изобразите графическую формулу фосфористой кислоты.

16.4. Фосфорный ангидрид

1. Небольшое количество оксида фосфора(+5) поместите в стеклянный стакан (*в защитных очках!*) и оставьте до конца занятия на воздухе. Отметьте наблюдаемые изменения.

2. Высыпьте в стакан с 10 мл воды небольшое количество (на кончике шпателя) оксида фосфора(+5) (*в вытяжном шкафу, в защитных очках!*). Определите pH раствора с помощью универсальной индикаторной бумаги.

Пробу 2–3 мл полученного раствора в отдельной пробирке вначале нейтрализуйте раствором карбоната натрия, а затем добавьте несколько капель раствора нитрата серебра.

- Какая кислота образуется при растворении оксида фосфора(+5) в воде в описанных в п. 2 условиях?

16.5. Метафосфорная кислота и метафосфаты

Для проведения опыта используйте раствор метафосфорной кислоты, полученный путем растворения фосфорного ангидрида в воде при комнатной температуре, или возьмите готовый.

1. Налейте в пробирку 1 мл водного раствора белка и прибавьте к нему примерно такое же количество метафосфорной кислоты в буферном растворе ацетата натрия и уксусной кислоты.

2. В пробирку с 1 мл раствора метафосфата натрия прилейте 1 мл раствора сульфата натрия. По каплям добавьте в пробирку раствор хлорида бария. Проведите этот опыт без метафосфата натрия и сопоставьте время выпадения осадка сульфата бария в обоих случаях.

3. К раствору метафосфата натрия прибавьте несколько капель нитрата серебра.

Напишите уравнения реакций и объясните наблюдаемые явления.

- Каково строение метафосфорных кислот?

16.6. Соли пирфосфорной кислоты

1. К 2–3 мл раствора пирфосфата или дигидропирфосфата натрия добавьте несколько капель раствора нитрата серебра и испытайте действие на осадок разбавленного раствора азотной кислоты.

2. С помощью универсальной индикаторной бумаги определите pH растворов двух- и четырехзамещенных натриевых солей пирфосфорной кислоты.

Напишите уравнения всех реакций и объясните наблюдаемые явления.

16.7. Орфосфорная кислота и фосфаты

Получение и свойства орфосфорной кислоты

Способ 1

Растворите в воде небольшое количество фосфорного ангидрида, добавьте несколько капель разбавленной серной кислоты и прокипятите раствор. К пробе полученного раствора добавьте «молибденовую жидкость».

Приготовление «молибденовой жидкости» для определения фосфат-иона. Растворите 15 г молибдата аммония, $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, в 100 мл дистиллированной воды и влейте полученный раствор в 100 мл 33%-й азотной кислоты. Оставьте раствор стоять 48 ч (при этом выпавший первоначально осадок мо-

либденовой кислоты частично растворится). Затем профильтруйте (или декантируйте) раствор для отделения выпавшего осадка.

Способ 2

Поместите в пробирку немного ортофосфата кальция, добавьте 5 мл 50%-го раствора серной кислоты и нагрейте смесь до кипения (*в защитных очках, в вытяжном шкафу!*). Слейте раствор с осадка и разбавьте водой. К пробе полученного раствора добавьте «молибденовую жидкость».

- Какими еще способами можно получить ортофосфорную кислоту?

Свойства фосфатов

1. Добавьте несколько капель раствора нитрата серебра к раствору гидрофосфата натрия. Отметьте цвет выпавшего осадка. Испытайте отношение осадка к 1 М раствору азотной кислоты.

2. В три пробирки налейте растворы дигидрофосфата натрия, гидрофосфата натрия и ортофосфата натрия соответственно. Определите pH растворов с помощью универсальной индикаторной бумаги. В каждую из пробирок прилейте равный объем концентрированного раствора хлорида кальция. Снова определите pH растворов. Испытайте отношение полученных осадков к уксусной и соляной кислотам.

3. Нагрейте в пламени газовой горелки тигель с небольшим количеством дигидрофосфата натрия до прекращения выделения паров воды. Обезвоженную соль прокалите в сильном пламени горелки. Полученное вещество растворите в воде и, используя изученные ранее качественные реакции, определите, соль какой фосфорной кислоты находится в растворе.

4. Прокалите в пламени газовой горелки тигель с небольшим количеством (несколько кристаллов) гидрофосфата натрия. Полученное вещество растворите в воде. Определите, соль какой фосфорной кислоты находится в растворе.

16.8. Синтезы по теме «Фосфор»

16.8.1. Пентахлорид фосфора

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 16.1.

Во взвешенную пробирку Вюрца 7 поместите 0,2 г сухого красного фосфора. Нижний конец трубки 6, подводящей хлор,

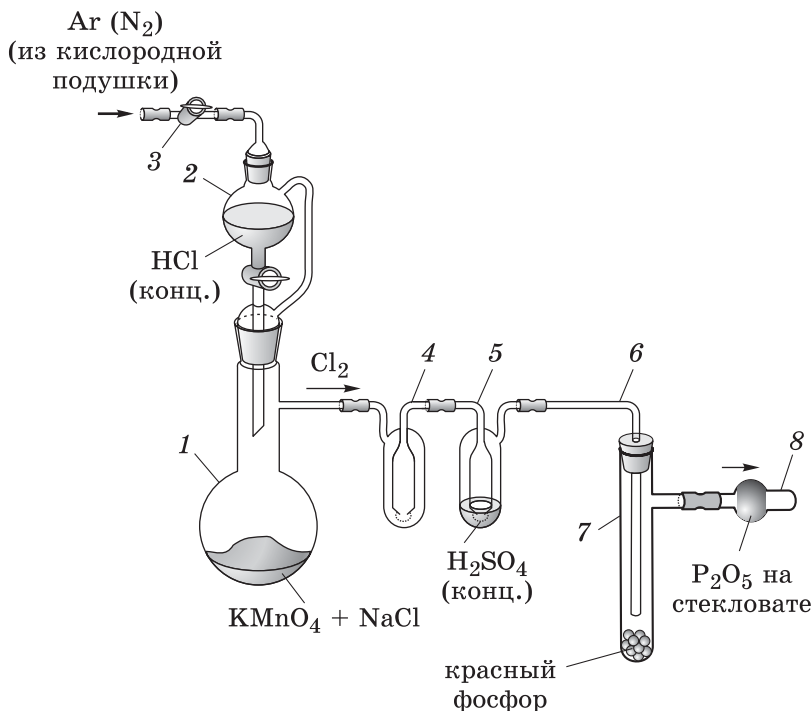


Рис. 16.1. Прибор для получения пентахлорида фосфора:

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — кран; 4 — пустая предохранительная (обратная) промывалка; 5 — промывалка с концентрированной серной кислотой; 6 — стеклянная трубка; 7 — пробирка Вюрца; 8 — хлоркальцевая трубка с оксидом фосфора(+5) на стекловате

должен располагаться на расстоянии ~20 мм от фосфора. Вытесните из прибора воздух сухим азотом или аргонem из кислородной подушки. Затем установите ровный ток хлора, добавляя в колбу Вюрца 1 со смесью перманганата калия и хлорида натрия концентрированную соляную кислоту из капельной воронки 2. Осторожно подогрейте пламенем газовой горелки фосфор в пробирке 7. После завершения реакции охладите пробирку Вюрца 7 с полученным веществом до комнатной температуры, закройте пробкой и взвесьте.

16.8.2. Трихлорид фосфора

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 16.2. Взвесьте в закрытом бюксе ~5 г пентахлорида фосфора и быстро перенесите большую его часть в колбу 1. Сверху

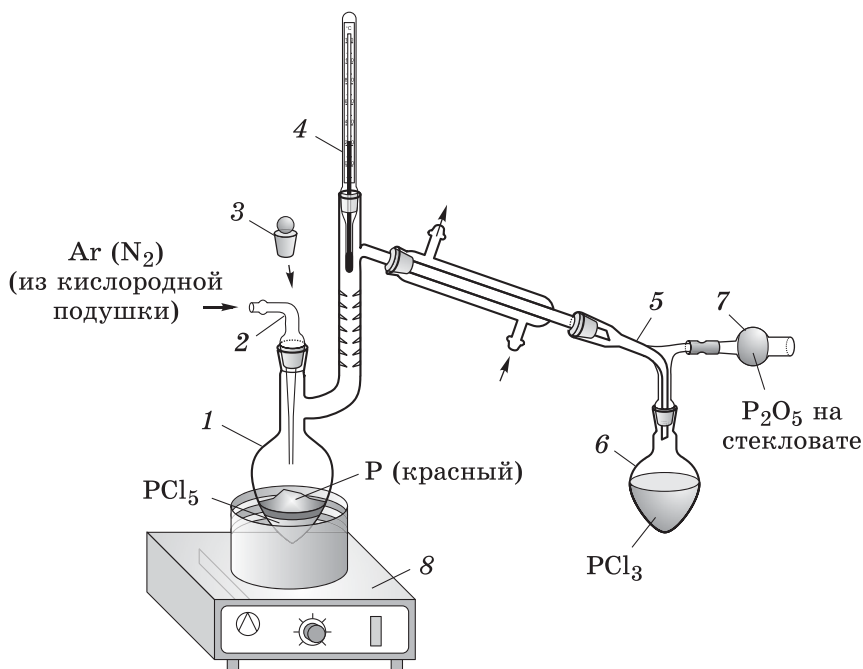


Рис. 16.2. Прибор для получения трихлорида фосфора:

1 — прибор для перегонки; 2 — стеклянная трубка; 3 — стеклянная пробка; 4 — термометр; 5 — аллонж; 6 — приемник; 7 — осушительная трубка с оксидом фосфора(+5) на стекловате; 8 — колбонагреватель

на слой пентахлорида фосфора уложите слой красного фосфора, взятого в пятикратном избытке. На красный фосфор положите оставшийся пентахлорид.

Пропустите через прибор ток сухого азота или аргона из кислородной подушки, затем уберите газоподводящую трубку 2 и закройте горловину колбы стеклянной пробкой 3. Пустите воду в холодильник. Осторожно нагрейте колбу 1. Нагревание отрегулируйте таким образом, чтобы образующаяся в результате реакции жидкость не отгонялась, а стекала обратно из дефлегматора в колбу. После завершения реакции усильте нагрев и отгоните полученный трихлорид фосфора со скоростью 1–2 капли в 1 с. Перегонку не ведите досуха, в колбе должно остаться немного жидкости.

! Осторожно! Оставшийся в колбе красный фосфор при перегреве переходит в белый, а это может привести к воспламенению или даже взрыву при его контакте с воздухом!

После охлаждения прибора до комнатной температуры отсоедините приемник от прибора, закройте пробкой и взвесьте. Проведите идентификацию полученного вещества.

16.8.3. Оксотрихлорид фосфора

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 16.2, заменив стеклянную трубку 2 на стеклянную пробку. Колба-приемник 6 должна быть предварительно взвешена вместе со стеклянной пробкой.

Взвесьте в закрытом бюксе ~3 г хлорида фосфора(+5) и ~1,5 г оксида фосфора(+5). Смесь быстро перемешайте стеклянной палочкой и поместите в колбу 1.

Включите воду для охлаждения холодильника. Отрегулируйте нагревание колбы таким образом, чтобы образующаяся в результате реакции жидкость не отгонялась, а стекала из дефлегматора обратно. После завершения реакции усильте нагрев и отгоните оксотрихлорид фосфора. Отметьте температуру перегонки. Отсоедините колбу-приемник от прибора, закройте пробкой и взвесьте.

16.9. Практикум повышенной сложности по теме «Фосфор»

16.9.1. Трибромид фосфора

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 16.3.

Кран капельной воронки 7 смажьте концентрированной ортофосфорной кислотой. В колбу 4 поместите 2,5 г сухого красного фосфора.

Вытесните из прибора воздух током сухого аргона или азота из кислородной подушки. В капельную воронку 7 налейте ~7 мл жидкого брома (*в защитных очках и перчатках!*).

Поставьте под колбу 4 баню с водой комнатной температуры. Пустите воду в холодильник 5. Небольшими порциями введите весь бром в колбу. В начале эксперимента приливайте бром очень осторожно, по каплям, а затем скорость добавления брома можно увеличить.

После введения всего брома уберите баню с водой, снимите капельную воронку 7 и закройте освободившуюся горловину стеклянной пробкой 8. Слегка подогрейте колбу слабым пламенем горелки через асбестовую сетку. Отрегулируйте нагревание таким образом, чтобы уровень конденсации жидкости поднялся почти до холодильника, а колба заполнилась бесцветными парами трибромида фосфора. Нагревание ведите до расходования всего красного фосфора.

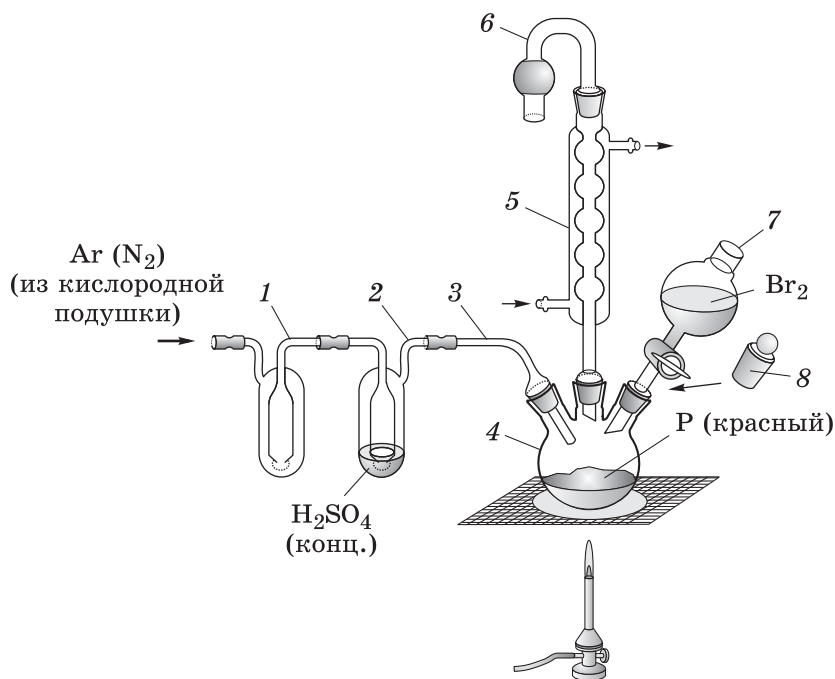


Рис. 16.3. Прибор для синтеза трибромида фосфора:

1 — предохранительная (обратная) промывалка; 2 — промывалка с концентрированной серной кислотой; 3 — стеклянная трубка; 4 — колба трехгорлая; 5 — шариковый холодильник; 6 — хлоркальцевая трубка с оксидом фосфора(+5) на стекловате; 7 — капельная воронка; 8 — стеклянная пробка

! Осторожно! Оставшийся в колбе красный фосфор при перегреве переходит в белый, что может привести к воспламенению при его контакте с воздухом!

После завершения реакции пропустите через прибор ток аргона или азота из кислородной подушки для удаления избытка брома, не дожидаясь охлаждения колбы. Полученный трибромид фосфора перегоните в приборе для микроперегонки (см. рис. 3.7 на с. 49), перелейте во взвешенную пробирку, закройте пробкой и взвесьте.

16.9.2. Монотиофосфат натрия

Получение тиотрихлорида фосфора. Соберите в вытяжном шкафу прибор для получения тиотрихлорида фосфора (рис. 16.4, а).

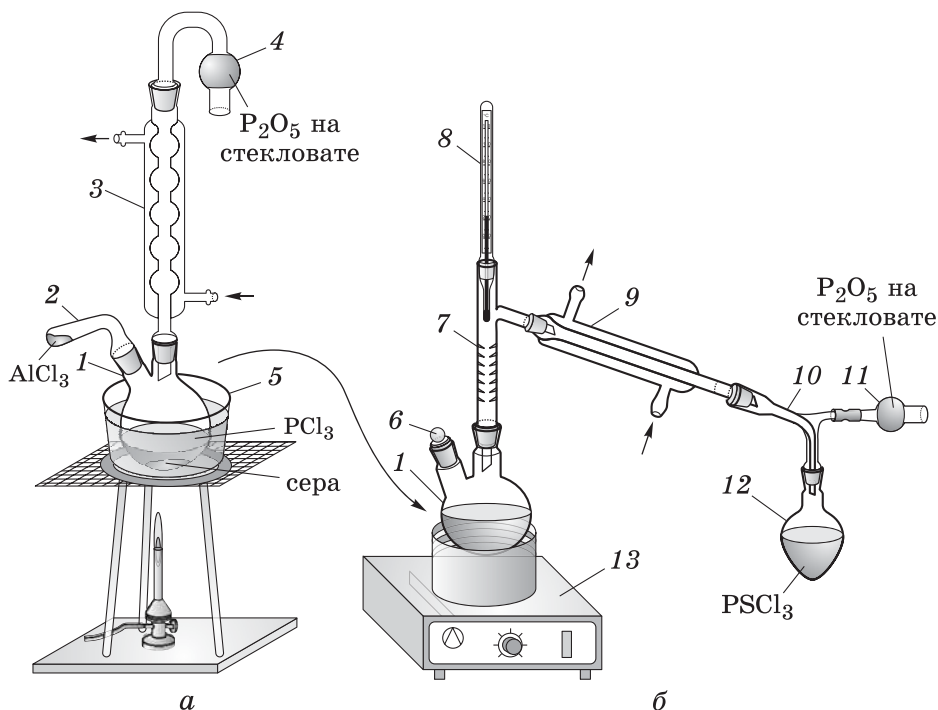


Рис. 16.4. Прибор для получения тиотрихлорида фосфора:

а — синтез; б — перегонка.

1 — двугорлая колба; 2 — «палец»; 3 — шариковый холодильник; 4, 11 — хлоркальциевые трубки с оксидом фосфора(+5) на стекловате; 5 — водяная баня; 6 — пробка стеклянная; 7 — дефлегматор; 8 — термометр; 9 — холодильник; 10 — аллонж; 12 — приемник; 13 — колбонагреватель

В колбу 1 поместите 3,5 г серы, растертой в фарфоровой ступке, и прилейте 7 мл трихлорида фосфора. В изогнутый «палец» 2 поместите 1,5 г безводного хлорида алюминия.

Включите воду для охлаждения холодильника. Нагрейте колбу 1 на водяной бане до закипания трихлорида фосфора (в защитных очках!). Поверните «палец» 2 в шлифе и небольшими порциями введите в реакционную смесь весь хлорид алюминия. Реакция обычно начинается не сразу, но затем может протекать очень бурно с частичным выбросом содержимого колбы в обратный холодильник. Признаком завершения реакции служит прекращение кипения жидкости в колбе 1, даже если вода в бане кипит.

После завершения бурной стадии реакции охладите колбу 1 до комнатной температуры, отсоедините ее от прибора для синтеза (рис. 16.4, а) и подсоедините к прибору для фракционной перегонки (рис. 16.4, б). Подайте воду в холодильник 9. Нагрей-

те колбу 1 с реакционной смесью и отгоните фракцию тиотрихлорида фосфора. Отсоедините приемник с полученным веществом от прибора, закройте пробкой и взвесьте.

Получение монотиофосфата натрия. Соберите прибор для кипячения в колбе с обратным холодильником (см. рис. 10.3, а на с. 125).

Хлоркальциевую трубку 3 заполните натронной известью или гранулированной щелочью. Приготовьте раствор 12 г гидроксида натрия в 40 мл воды и перелейте в колбу 1, затем добавьте 7 г тиотрихлорида фосфора.

Пустите воду в холодильник. Нагрейте раствор в колбе 1 и кипятите до полного расходования всего тиотрихлорида фосфора. После завершения реакции охладите содержимое колбы до 50 °С, перелейте в стакан, добавьте 10 мл этанола и оставьте охлаждаться вначале на воздухе до комнатной температуры, а затем в бане со льдом и водой.

Выпавшие кристаллы отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, промойте два раза охлажденной смесью воды и этанола (всего потребуются 50 мл смеси: 10 мл этанола и 40 мл воды), затем высушите на фильтровальной бумаге. Взвесьте полученный монотиофосфат натрия и рассчитайте выход (в %).

17. СУРЬМА, ВИСМУТ

17.1. Свойства сурьмы

В три пробирки поместите по 0,2–0,3 г растертой в фарфоровой ступке сурьмы и добавьте в них по 2–3 мл концентрированной соляной кислоты, концентрированной азотной кислоты и «царской водки» соответственно.

Исследуйте отношение сурьмы к кислотам при комнатной температуре и при нагревании.

- Какое положение занимает сурьма в ряду стандартных электродных потенциалов?

17.2. Оксид сурьмы(+3)

К 10 мл солянокислого раствора трихлорида сурьмы прилейте раствор карбоната натрия до слабощелочной реакции. Нагрейте реакционную смесь. Дайте образовавшемуся осадку осесть и промойте его несколько раз горячей водой путем декантации. Промытый осадок поместите в две пробирки.

Подействуйте на оксид сурьмы(+3) в одной пробирке концентрированной соляной кислотой. В другую пробирку добавьте избыток 1 М раствора гидроксида натрия до растворения осадка. К полученному раствору добавьте несколько капель аммиачного раствора нитрата серебра.

- К какому типу оксидов относится оксид сурьмы(+3)?
- Какие свойства проявляет сурьма(+3) в этих реакциях?

17.3. Оксид сурьмы(+5)

В две пробирки поместите немного оксида сурьмы(+5). В первую пробирку добавьте 10%-й раствор гидроксида калия. В другую пробирку прилейте немного концентрированной соляной кислоты и осторожно нагрейте. Поднесите полоску иодокрахмальной бумаги, смоченную водой.

- Каким способом можно получить оксид сурьмы(+5)?
- Какие свойства проявляет сурьма(+5) в этих реакциях?

17.4. Сульфиды и тиосоли сурьмы(+3)

Налейте в пробирку 2–3 мл раствора хлорида сурьмы(+3). Добавьте немного свежеприготовленного раствора сульфида ам-

мония до выпадения осадка сульфида сурьмы(+3), а затем прилейте избыток раствора сульфида аммония до растворения осадка. Испытайте отношение полученного раствора к разбавленной соляной кислоте.

- Какая тиосооль образуется при растворении сульфида сурьмы(+3) в полисульфиде аммония? Что произойдет, если к раствору этой тиосоли добавить разбавленную соляную кислоту?
- Напишите уравнения растворения сульфида сурьмы(+5) в сульфиде и полисульфиде аммония.

17.5. Получение и свойства висмута

В раствор нитрата висмута в пробирке поместите несколько гранул цинка. Через некоторое время отделите выделившийся висмут и испытайте его отношение к концентрированным соляной и азотной кислотам.

- Какое положение занимает висмут в ряду стандартных электродных потенциалов металлов?
- Как относится висмут к дымящей азотной кислоте?

17.6. Соединения висмута(+3)

1. В пробирку с водой внесите немного пентагидрата нитрата висмута(+3). Наблюдается ли изменение прозрачности раствора? Определите рН раствора с помощью универсальной индикаторной бумаги.

2. Получите в трех пробирках осадок гидроксида висмута(+3) действием раствора гидроксида натрия на раствор нитрата висмута(+3). В одну из пробирок добавьте разбавленную азотную кислоту, во вторую — избыток раствора гидроксида натрия, в третью — раствор гидроксостанната(+2).

3. Осадите в двух пробирках сульфид висмута(+3) действием свежеприготовленного раствора сульфида аммония на раствор нитрата висмута. В одну пробирку добавьте избыток раствора сульфида аммония, в другую — концентрированную соляную кислоту.

- Образует ли висмут тиосоли?

17.7. Соединения висмута(+5)

Осадите в пробирке гидроксид висмута(+3) действием избытка гидроксида калия на раствор нитрата висмута. Добавьте в пробирку кристаллический пероксодисульфат калия и нагрейте. Промойте осадок висмутата калия методом декантации три раза дистиллированной водой по 3 мл.

Приготовьте в пробирке раствор, содержащий по 2–3 капли растворов нитрата марганца и 10%-й азотной кислоты в 5 мл воды. Внесите в раствор полученный висмутат калия и нагрейте смесь. Отметьте окраску раствора после отстаивания осадка.

- На какие свойства соединений висмута(+5) указывает данная реакция?
- Сравните кислотно-основные, восстановительные и окислительные свойства гидроксидов сурьмы и висмута.

17.8. Синтез по теме «Сурьма»

17.8.1. Сурьмянистый водород (стибин)

- ! Работу проводите в вытяжном шкафу, в очках или маске
• под наблюдением преподавателя!

Соберите прибор, изображенный на рисунке 17.1. В пробирку Вюрца 1 поместите гранулированный цинк ($\sim 1/5$ объема пробирки) и через воронку 2 прилейте немного 20%-го раствора соляной кислоты. Проверьте выделяющийся водород на чистоту.

После того как из прибора будет вытеснен весь воздух и проба водорода будет сгорать в пробирке 6 без свистящего звука, подожгите водород на выходе из трубки 5 и нагрейте тугоплавкую стеклянную трубку 4 в пламени газовой горелки. Обратите внимание на цвет пламени на выходе из трубки 5.

Добавьте в пробирку Вюрца 1 через воронку 2 немного раствора соли сурьмы. Нагревая стеклянную трубку 4 в пламени горелки, получите ровное блестящее сурьмяное зеркало на внутренней стороне трубки. Обратите внимание на изменение цвета пламени на выходе из трубки 5.

Поднесите доньшко фарфоровой чашечки к пламени на выходе из трубки 5. Образовавшееся при этом черное пятно сурьмы обработайте раствором гипохлорита натрия.

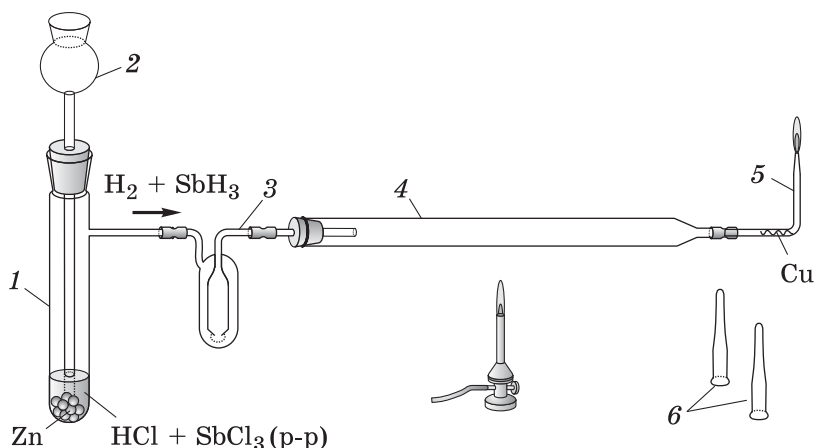


Рис. 17.1. Прибор для получения стибина:

1 — пробирка Вюрца; 2 — воронка; 3 — предохранительная (обратная) промывалка; 4 — тугоплавкая стеклянная трубка; 5 — Г-образная трубка с вытянутым концом с медной спиралью; 6 — пробирки для проверки водорода на чистоту

Исследуйте также отношение пятен сурьмы, образующихся при разложении стибина на донышке чашки, к раствору белильной извести и к концентрированной азотной кислоте.

- С какой целью проводятся два параллельных опыта — с добавлением соли сурьмы и без нее?
- Чем может быть загрязнен цинк?
- Сравните свойства сурьмянистого водорода и аналогичных водородных соединений мышьяка, фосфора и азота (их термическую устойчивость, восстановительные свойства).

17.9. Практикум повышенной сложности по теме «Сурьма, висмут»

17.9.1. Триодид сурьмы

Соберите прибор, изображенный на рисунке 10.3, а (см. с. 125). В колбу 1 поместите 0,5 г растертой в фарфоровой ступке сурьмы и добавьте кристаллический иод в 10%-м недостатке относительно рассчитанного по уравнению реакции.

В колбу 1 прилейте 50 мл осушенного тетрахлорида углерода. Пустите воду в обратный холодильник. Нагрейте реакцию

смесь и кипятите 1,5–2 ч до завершения реакции. Окраска раствора при этом изменяется с малиновой на оранжево-желтую. Горячий раствор перенесите в фарфоровую чашку (*в вытяжном шкафу!*). Чашку закройте сверху часовым стеклом и оставьте под тягой до полного удаления растворителя. Полученный триодид сурьмы высушите на воздухе, поместите в пробирку и взвесьте.

17.9.2. Трибромид сурьмы

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 17.2. Налейте 20 мл осушенного тетрахлорида углерода в колбу 1 и добавьте 1,5 мл брома (*в вытяжном шкафу, в защитных очках и перчатках!*). Тщательно разотрите в фарфоровой ступке 3 г сурьмы и поместите ее в «палец» 2.

Пустите воду в холодильник 5. Поверните «палец» 2 в шлифе вокруг оси и внесите маленькую порцию сурьмы в колбу 1. Очередную порцию сурьмы вносите только тогда, как закончится бурная стадия взаимодействия с бромом внесенной ранее порции. После внесения всей сурьмы и завершения активной стадии реакции извлеките «палец» 2, а освободившуюся горловину колбы закройте стеклянной пробкой 3.

Нагрейте реакционную смесь в колбе 1 и кипятите до исчезновения окраски раствора, обусловленной растворенным бромом. Горячий раствор перенесите из колбы в стакан (*в вытяжном шка-*

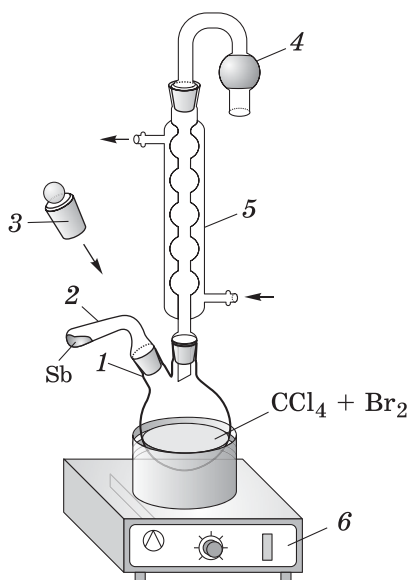


Рис. 17.2. Прибор для получения трибромид сурьмы:

1 — колба двугорлая; 2 — «палец»; 3 — стеклянная пробка; 4 — хлоркальциевая трубка с оксидом фосфора(+5) на стекловате; 5 — шариковый холодильник; 6 — колбонагреватель

фу, в защитных очках и перчатках!). Стакан закройте сверху часовым стеклом и оставьте медленно охлаждаться на воздухе.

Выпавшие кристаллы отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, закрытой вакуумной резиной. Осадок на фильтре промойте 3 мл сухого, охлажденного во льду тетрахлорида углерода и высушите.

Полученное вещество перенесите в пробирку, заполненную аргоном.

17.9.3. Гексахлороантимонат(+5) калия

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 17.3. Трубка 4 должна доходить почти до дна реактора 5.

Разотрите в фарфоровой ступке 3 г оксида сурьмы(+3). Растворите оксид сурьмы в двукратном (относительно рассчитанного по уравнению реакции) избытке концентрированной соляной кислоты (в вытяжном шкафу!). Раствор перелейте в реактор 5.

Установите ток хлора 1–2 пузырька в 1 с через промывалку 7. Хлор пропускайте до насыщения раствора и приобретения характерной зеленовато-желтой окраски.

Полученный раствор гексахлоросурьмяной кислоты перелейте в стакан и добавьте рассчитанное по уравнению реакции коли-

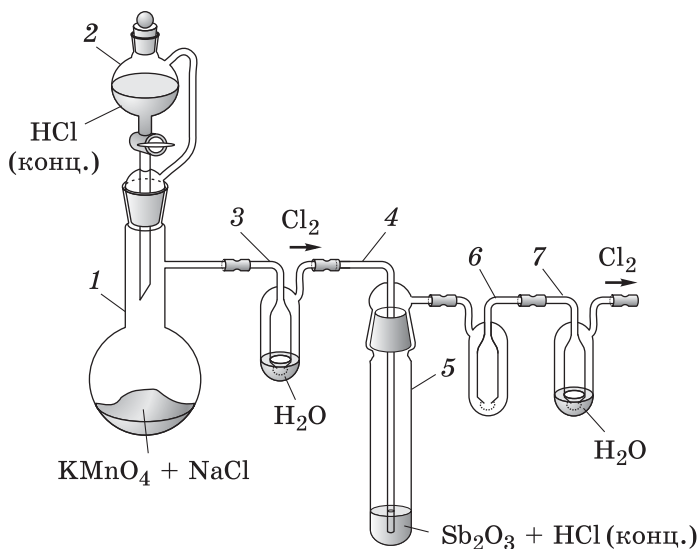


Рис. 17.3. Прибор для получения гексахлоросурьмяной кислоты: 1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3, 7 — промывалки с водой; 4 — стеклянная трубка; 5 — реактор; 6 — предохранительная (обратная) промывалка

чество кристаллического хлорида калия. стакан подогрейте при непрерывном перемешивании содержимого до растворения внесенного хлорида калия. Горячий раствор перелейте в фарфоровую чашку для выпаривания на песчаной бане. После появления кристаллической пленки на поверхности охладите раствор вначале до комнатной температуры, а затем в бане со льдом и водой.

Выпавшие зеленовато-желтые кристаллы гексахлороантимоната(+5) калия отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном и высушите на фильтровальной бумаге. Вещество перенесите в пробирку и взвесьте.

17.9.4. Пентахлорид сурьмы

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 17.4. Реакционную трубку 5 установите с наклоном в сторону приемника 6. Взвесьте 3 г сурьмы, измельченной в фарфоровой ступке, и поместите в среднюю часть реакционной трубки 5 (без лодочки!).

Установите ток хлора 1–2 пузырька в 1 с через промывалку 9. Реакция начинается при комнатной температуре, дополнительное нагревание не требуется. Хлорирование ведите до расходования всей исходной сурьмы.

После завершения реакции к содержимому приемника 6 прилейте 10 мл осушенного тетрахлорида углерода. Перелейте полученный раствор во взвешенную коническую колбу, закройте пробкой и взвесьте.

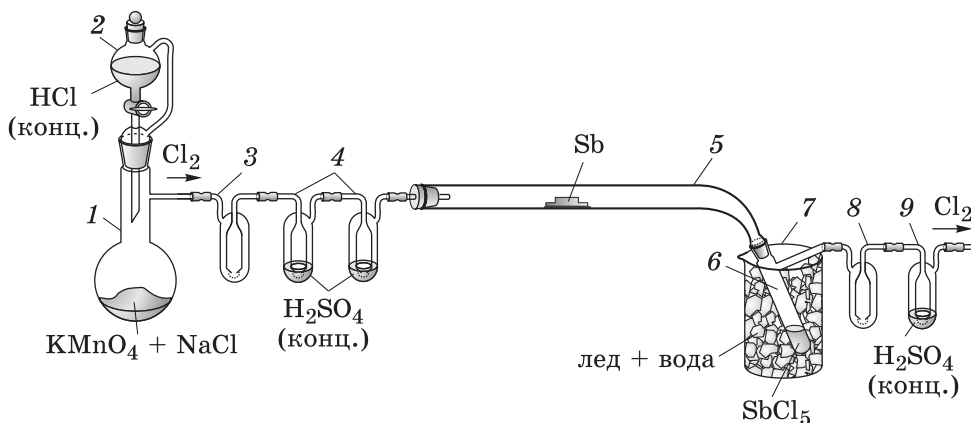


Рис. 17.4. Прибор для получения пентахлорида сурьмы:

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3, 8 — предохранительные (обратные) промывалки; 4, 9 — промывалки с концентрированной серной кислотой; 5 — реакционная трубка изогнутая (стеклянная или кварцевая); 6 — приемник; 7 — баня с охлаждающей смесью

17.9.5. Гексахлороантимонат(+5) нитрозония

По методике, изложенной в разделе 17.9.4, получите 6 мл пентахлорида сурьмы и прилейте к нему 10–15 мл осушенного тетрахлорида углерода. Далее синтез выполните по методике из раздела 15.6.6 (см. рис. 15.7 на с. 178).

После окончания синтеза выпавшие в конической колбе кристаллы отделите от раствора при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, плотно закрытой сверху пластиной из вакуумной резины и многократно промойте на фильтре небольшими порциями осушенного тетрахлорида углерода. Полученное вещество быстро перенесите во взвешенную пробирку, заполненную аргоном, закройте пробкой и взвесьте.

17.9.6. Безводный нитрат висмута(+3)

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 17.5. Разотрите в фарфоровой ступке смесь 17,5 г нитрата свинца и 5 г кварцевого песка (*в вытяжном шкафу!*), предварительно высушенных при 150 °С, затем поместите в пробирку 1. В реактор 4 налейте 4 мл свежеперегнанного ацетонитрила и внесите 1,5 г висмута, тонко измельченного в фарфоровой ступке. Трубка 3 должна находиться выше поверхности жидкости.

Охладите реактор 4 в бане со льдом и водой. Пробирку 1 нагрейте сильным пламенем газовой горелки. После прекращения выделения диоксида азота отсоедините реактор 4 от прибора и закройте крышкой с хлоркальциевой трубкой (рис. 17.6), запол-

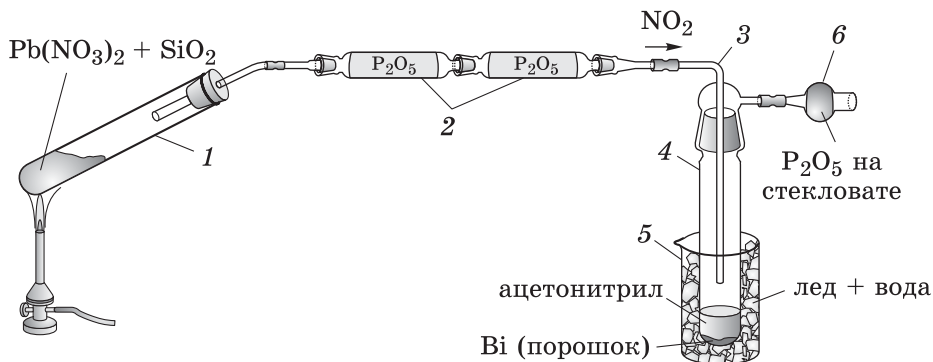


Рис. 17.5. Прибор для получения диоксида азота:

1 — пробирка из тугоплавкого стекла; 2 — колонки с оксидом фосфора(+5) на стекловате; 3 — стеклянная трубка; 4 — реактор; 5 — баня со льдом; 6 — хлоркальциевая трубка с оксидом фосфора(+5) на стекловате

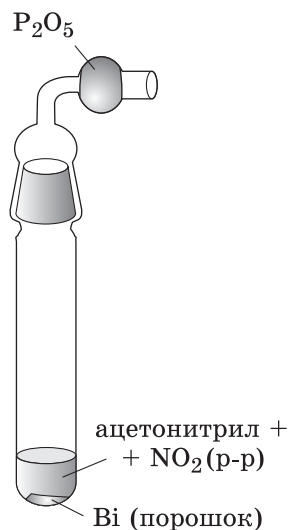


Рис. 17.6. Прибор для получения нитрата висмута

ненной оксидом фосфора(+5) на стекловате, и оставьте на сутки в вытяжном шкафу.

Соберите прибор для отгонки растворителя (см. рис. 14.4 на с. 165) и отгоните ацетонитрил в вакууме. После полной отгонки растворителя и вспенивания образовавшейся массы уберите стакан с водой. Охладите прибор в вакууме водоструйного насоса до комнатной температуры. Запустите воздух в установку и выключите насос.

Полученный нитрат висмута быстро перенесите в заранее взвешенную пробирку, заполненную аргоном из кислородной подушки и плотно закройте резиновой пробкой. Взвесьте пробирку с веществом.

18. КИСЛОРОД

18.1. Получение кислорода

1. Поместите в пробирку несколько кристаллов перманганата калия, пробирку закрепите наклонно в штативе и нагрейте в пламени горелки. Внесите в пробирку тлеющую лучинку.

2. Налейте в пробирку 3–5 мл 3%-го раствора пероксида водорода, на кончике шпателя добавьте немного порошка оксида марганца(+4) и сразу же внесите в пробирку тлеющую лучинку.

- Какова роль диоксида марганца в реакциях с пероксидом водорода?
- В каких условиях может быть получен кислород из пероксида бария, бертолетовой соли? Напишите уравнения реакций.

18.2. Свойства кислорода

Заполните толстостенную банку 3 водой до краев и закройте стеклянной пластиной 4, затем переверните и погрузите в кристаллизатор 2 с водой (рис. 18.1). Подведите трубку 1 от кислородной подушки или баллона под склянку 3. Заполните банку кислородом, закройте ее под водой стеклянной пластиной и извлеките из воды. Заполните кислородом еще две банки.

1. Поместите в ложечку для сжигания кусочек серы величиной с горошину и подожгите в пламени газовой горелки (*в вытяжном шкафу!*). Внесите горящую серу в банку с кислородом. Обратите внимание на цвет и размер пламени.

2. Положите в ложечку для сжигания небольшой кусочек древесного угля, накалите его в пламени газовой горелки и внесите в банку с кислородом.

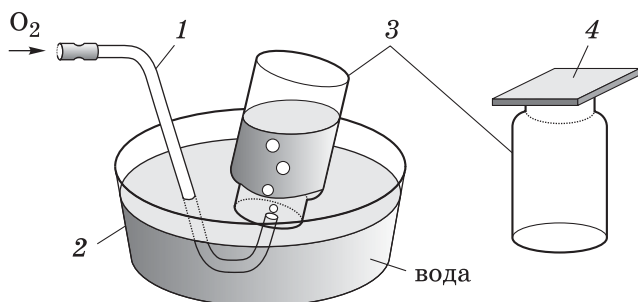


Рис. 18.1. Заполнение банок кислородом:

1 — трубка для подачи кислорода; 2 — кристаллизатор с водой; 3 — банка; 4 — стеклянная пластинка

3. Сверните спиралью отрезок тонкой стальной проволоки. Наколите на проволоку маленький кусочек корковой пробки. Подожгите пробку и быстро внесите в банку с кислородом.

- Какой вывод о свойствах кислорода можно сделать на основании проведенных опытов?
- Как влияет на интенсивность горения веществ замена воздуха кислородом?

18.3. Пероксид водорода

Налейте в колбу 20 мл 5%-го раствора серной кислоты. Добавьте 1 г пероксида бария и взболтайте содержимое колбы. Полученный раствор пероксида водорода отделите от осадка фильтрованием на воронке с бумажным фильтром.

! Для проведения следующих опытов можно использовать полученный раствор пероксида водорода или взять готовый 3%-й раствор.

1. К раствору пероксида водорода в пробирке прилейте несколько капель раствора иодида калия. Разбавьте раствор водой и добавьте 1–2 капли раствора крахмала.

2. К 1 мл раствора нитрата свинца в пробирке добавьте свежеприготовленный раствор сульфида аммония. Небольшое количество осадка сульфида свинца, промытого водой путем декантации, обработайте раствором пероксида водорода.

3. К раствору пероксида водорода в пробирке, подкисленному серной кислотой, добавьте каплю раствора перманганата калия.

- Какие свойства проявляет пероксид водорода в этих опытах?

18.4. Синтез по теме «Кислород»

18.4.1. Хемилюминесценция (синглетный кислород)

Соберите в вытяжном шкафу в затемненном месте прибор, изображенный на рисунке 18.2. В качестве счетчика пузырьков установите промывалку с водой 3.

Приготовьте в одном стакане 20 мл 5 М раствора гидроксида натрия, в другой налейте 10 мл 30%-го раствора пероксида водорода. Охладите оба раствора в бане со льдом, затем смешайте их в одном стакане.

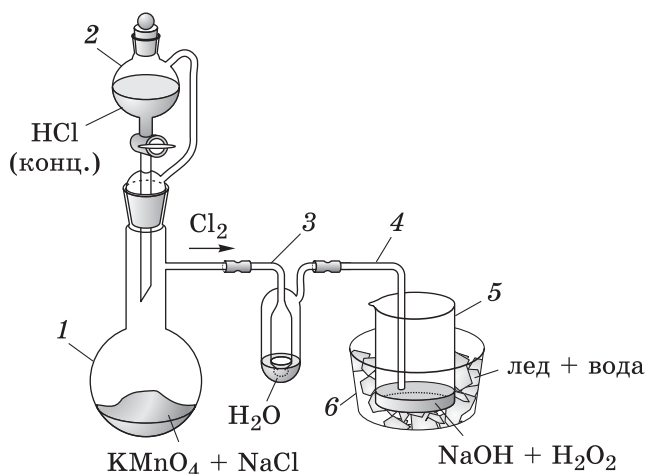


Рис. 18.2. Прибор для получения синглетного кислорода и демонстрации хемилюминесценции:

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — промывалка с водой; 4 — изогнутая стеклянная трубка; 5 — стакан; 6 — баня со льдом

Поместите стакан с полученным раствором в охлаждающую смесь.

Установите ток хлора 1–2 пузырька в 1 с через промывалку с водой 3. Пропустите хлор через раствор. Струю хлора можно направить также и вдоль поверхности раствора.

- Какова природа свечения?

19. СЕРА

19.1. Модификации серы

Ромбическая сера. В сухую пробирку налейте 1–2 мл хлороформа (*в вытяжном шкафу!*) и небольшими порциями при перемешивании внесите порошок серы до образования насыщенного раствора. Каплю полученного раствора поместите на предметном стекле под микроскоп и наблюдайте за ростом кристаллов. Зарисуйте форму кристаллов.

Моноклинная сера. Осторожно расплавьте серу в небольшом фарфоровом тигле (*не перегревайте!*). Расплав должен занимать не менее половины объема тигля. Охладите тигель с расплавом на воздухе для кристаллизации. Как только кристаллы почти сомкнулись в центре, быстро вылейте не успевшую застыть серу в стакан с водой. Рассмотрите в микроскоп и зарисуйте образовавшиеся в тигле кристаллы. Часть полученных кристаллов сохраните до следующего занятия и снова рассмотрите их в микроскоп.

Изменение состояния серы при нагревании. Наполните $\frac{1}{5}$ пробирки серой и осторожно нагрейте в пламени горелки (*не допускайте перегрева!*). Наблюдайте плавление и последующие изменения цвета и вязкости серы.

Пластическая сера. Нагрейте в пробирке серу до кипения и вылейте расплав тонкой струей в стакан с холодной водой. Полученную массу извлеките из воды и высушите между листами фильтровальной бумаги. Почему полученная сера называется пластической?

Часть полученной массы сохраните до следующего занятия и снова изучите ее свойства.

- Нарисуйте P – T -диаграмму серы.
- Какая полиморфная модификация серы стабильна при нормальных условиях?
- Что происходит с моноклинной серой при хранении?
- Какое строение молекул отвечает полученным модификациям серы?
- Является ли пластическая сера полиморфной модификацией серы?
- Чем объясняются изменения цвета и вязкости при нагревании серы?

19.2. Сероводород

- ! Сероводород ядовит! Все опыты с сероводородом проводите
- только в вытяжном шкафу.

- ! Продукты реакции, содержащие сероводород, ни в коем случае не выливайте в раковину. Посуду с сероводородными остатками не выносите из вытяжного шкафа! Для нейтрализации сероводорода и сероводородных остатков можно использовать 10%-й раствор гидроксида натрия.

1. Поместите ~1 г сульфида железа(+2) в пробирку и прилейте 3–5 мл 20%-го раствора соляной кислоты. Закройте пробирку пробкой с оттянутой стеклянной трубкой. Подожгите выделяющийся сероводород на выходе из трубки (*осторожно, смесь сероводорода с воздухом взрывоопасна!*) и внесите в пламя сероводорода холодную крышку от тигля.

Чтобы погасить пламя, наденьте на трубку небольшую перевернутую пробирку.

2. Поднесите к оттянутой трубке пробирки со смесью сульфида железа(+2) и соляной кислоты полоски фильтровальной бумаги, смоченные несколькими каплями бромной воды, иодной воды, подкисленных растворов перманганата и дихромата калия, а также увлажненную полоску универсальной индикаторной бумаги. Отметьте изменение окраски бумажных полосок в каждом опыте.

- Какие свойства сероводорода демонстрируют сделанные опыты?

19.3. Сульфиды металлов

Осаждение сульфидов металлов

В ряд пробирок налейте по 1–2 мл растворов солей железа(+2), железа(+3), марганца(+2), цинка(+2), кадмия(+2), свинца(+2), сурьмы(+3), меди(+2). В каждую из пробирок прибавьте по 1–2 мл свежеприготовленного раствора сульфида аммония. Отметьте цвет образующихся осадков. Испытайте действие 1 М раствора соляной кислоты на полученные осадки.

Напишите уравнения всех реакций и объясните наблюдаемые явления.

- Выпишите значения произведений растворимости сульфидов этих металлов.
- Сформулируйте условия осаждения сульфидов металлов сероводородом.
- Какие сульфиды растворяются в соляной кислоте?
- Какие сульфиды растворяются в избытке раствора сульфида аммония?

Свойства сульфидов металлов, растворимых в воде

1. Определите pH раствора сульфида натрия с помощью универсальной индикаторной бумаги.

2. Налейте в пробирку 2 мл раствора сульфида натрия и пропустите ток оксида углерода(+4) из кислородной подушки или баллона. Полоску фильтровальной бумаги, смоченную несколькими каплями ацетата или нитрата свинца, поднесите к отверстию пробирки.

- Как объяснить изменение окраски универсального индикатора в растворе сульфида натрия?
- Какая кислота сильнее: угольная или сероводородная?

19.4. Оксид серы(+4)

Реакции образования оксида серы(+4)

! Опыты с оксидом серы(+4) проводите в вытяжном шкафу и в защитных очках!

Для определения сернистого газа подготовьте полоски фильтровальной бумаги, смоченные несколькими каплями подкисленного раствора перманганата калия.

1. Подожгите в ложечке для сжигания крупинку серы.
2. Поместите в пробирку несколько кристаллов безводного сульфита натрия и добавьте 2–3 капли концентрированной серной кислоты.

Докажите выделение сернистого газа в этих опытах.

- Как еще можно получить оксид серы(+4) в лаборатории? Как его получают в промышленности? Напишите уравнения реакций.

Получение и свойства оксида серы(+4)

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 19.1. В колбу Вюрца 1 поместите 25–30 г безводного сульфита натрия и смочите его 2–3 мл воды. В капельную воронку 2 налейте ~30 мл концентрированной серной кислоты (но не более $\frac{2}{3}$ объема воронки). Промывалку 3 заполните концентрированной серной кислотой.

У-образную трубку 4, предназначенную для сбора сжиженного оксида серы(+4), поместите в баню 5 с охлаждающей смесью льда с твердым хлоридом натрия.

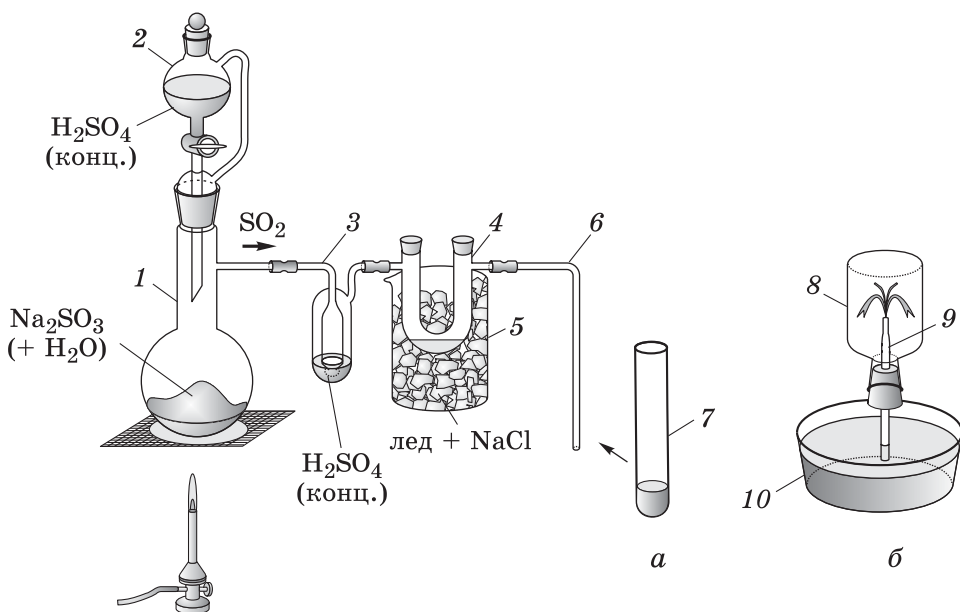


Рис. 19.1. Прибор для получения сернистого газа действием серной кислоты на сульфит натрия:

а — сжижение и пропускание газа через раствор в пробирке; *б* — «фонтанчик».

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — промывалка с концентрированной серной кислотой; 4 — U-образная трубка-приемник; 5 — баня с охлаждающей смесью; 6 — изогнутая стеклянная трубка; 7 — пробирка; 8 — толстостенная банка; 9 — оттянутая трубка; 10 — кристаллизатор с водой

Медленно приоткройте кран капельной воронки 2 и по каплям добавляйте концентрированную серную кислоту к безводному сульфиту натрия. Установите такой ток оксида серы(+4), чтобы через промывалку 3 проскакивало 1–2 пузырька газа в 1 с. При замедлении тока оксида серы(+4) содержимое колбы Вюрца 1 можно немного подогреть газовой горелкой через сетку.

1. Смочите небольшие полоски фильтровальной бумаги иодной и бромной водой, а также растворами перманганата и дихромата калия, подкисленными серной кислотой, и поднесите их к трубке 6. Отметьте изменение окраски бумажных полосок.

2. Налейте в одну пробирку 1–2 мл свежеприготовленной сероводородной воды, а в другую — раствор сульфида аммония и пропустите через них ток оксида серы(+4).

3. Налейте в пробирку 2 мл раствора фуксина и пропустите через него ток оксида серы(+4). Отметьте изменение окраски раствора, затем прокипятите раствор.

4. Вылейте 2–3 мл сжиженного оксида серы(+4) из U-образной трубки 4 в толстостенную банку 8 емкостью 50–100 мл (рис. 19.1, б). После испарения всего диоксида серы плотно закройте банку 8 резиновой пробкой со стеклянной трубкой 9 с оттянутым концом, обращенным внутрь. Переверните банку с газом вверх дном, погрузите наружный конец трубки 9 в кристаллизатор с водой.

Напишите уравнения всех реакций и объясните наблюдаемые явления.

- Какие свойства проявляет диоксид серы в этих опытах?
- Какие равновесия устанавливаются при растворении оксида серы(+4) в воде?
- Какова растворимость оксида серы(+4) в воде?

19.5. Серная кислота и ее соли

! Опыты проводите в вытяжном шкафу, в защитных очках и перчатках!

Растворение концентрированной серной кислоты в воде

Налейте в стакан 10–15 мл воды, в стакан поместите термометр и добавьте 2 мл концентрированной серной кислоты. Отметьте изменение температуры.

- В каком порядке следует приливать воду и концентрированную серную кислоту при разбавлении кислоты?

Действие серной кислоты на органические вещества

1. Опустите лучинку в пробирку с 2–3 мл концентрированной серной кислоты. Отметьте наблюдаемые изменения.

2. Приготовьте 2–3 мл раствора серной кислоты (1 : 1). Смочите кончик стеклянной палочки этим раствором и сделайте надпись на листке белой бумаги. Осторожно нагрейте бумагу над горелкой.

3. В пробирку поместите 5 г сахарной пудры, смочите ее водой до состояния густой кашицы, затем прилейте 2–3 мл концентрированной серной кислоты. Быстро перемешайте массу стеклянной палочкой и наблюдайте за происходящими явлениями.

- Какие газообразные вещества выделяются при взаимодействии сахара с концентрированной серной кислотой?

Действие серной кислоты на металлы

Налейте в пробирку 2–3 мл концентрированной серной кислоты и опустите в нее несколько кусочков железной проволоки. Осторожно нагрейте пробирку (*в защитных очках!*).

Налейте в пробирку 2–3 мл 20%-й серной кислоты и опустите в нее несколько кусочков железной проволоки.

Напишите уравнения реакций и объясните наблюдаемые явления.

- В чем различие действия концентрированных и разбавленных растворов серной кислоты на металлы?

Термическая устойчивость сульфатов

1. В небольшой тигель поместите 1–2 г гидросульфата натрия и сначала осторожно нагрейте, а затем сильно прокалите в пламени горелки. После охлаждения тигля до комнатной температуры добавьте в него немного воды и определите pH раствора с помощью универсальной индикаторной бумаги. Сравните с pH раствора гидросульфата натрия.

2. В небольшой тигель положите несколько кристаллов гептагидрата сульфата железа(+2), сначала нагрейте, а затем сильно прокалите в пламени горелки.

- От чего зависит термическая устойчивость солей серной кислоты?

19.6. Свойства тиосульфата натрия

1. Растворите несколько кристаллов пентагидрата тиосульфата натрия в небольшом количестве воды и добавьте 1–2 мл разбавленной соляной кислоты.

2. Поместите в маленький тигель несколько кристаллов тиосульфата натрия и нагрейте сначала осторожно, а затем сильно.

3. Налейте в пробирку 3–4 мл свежеприготовленной хлорной воды и прибавьте по каплям раствор тиосульфата натрия. Добавьте несколько капель раствора хлорида бария.

4. Налейте в пробирку 3–4 мл иодной воды и прибавьте по каплям раствор тиосульфата натрия.

5. Налейте в две пробирки по 2–3 мл раствора тиосульфата натрия. В одну пробирку добавьте по каплям раствор сульфата меди(+2), в другую внесите осадок хлорида серебра. Содержимое пробирок нагрейте в пламени горелки.

Напишите уравнения реакций и объясните наблюдаемые явления.

- Почему тиосульфат называют антихлором?
- Почему при взаимодействии хлорной и иодной воды с тиосульфатом натрия получаются разные продукты реакции, содержащие серу?

19.7. Свойства пероксодисульфата калия

Поместите в пробирку несколько кристаллов пероксодисульфата калия, растворите их в небольшом количестве воды и добавьте каплю раствора нитрата серебра. Прилейте ~1 мл разбавленного раствора нитрата марганца(+2), подкисленного азотной кислотой, затем осторожно нагрейте.

Напишите уравнение реакции и объясните наблюдаемые явления.

19.8. Синтезы по теме «Сера»

19.8.1. Получение серной кислоты нитрозным способом

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 19.2.

В колбу Вюрца 1 поместите 30 г безводного сульфита натрия и смочите его 4–5 мл воды, в капельную воронку 2 налейте концентрированную серную кислоту. Положите 3–5 г медных стружек в колбу Вюрца 9, в капельную воронку 8 налейте концентрированную азотную кислоту.

Подержите горлышко реакционной колбы 4 над стаканом с кипящей водой, чтобы на стенках колбы сконденсировались мельчайшие капли воды (в дальнейшем в этих местах закристаллизуется нитрозилсерная кислота), затем присоедините колбу 4 к прибору.

Осторожно, по каплям, прилейте азотную кислоту из воронки 8 к медным стружкам. После того как реакционная колба 4 заполнится диоксидом азота, закройте кран воронки 8.

Запустите в колбу 4 ток оксида серы(+4), по каплям прибавляя серную кислоту из воронки 2 к сульфиту натрия в колбе 1.

После обесцвечивания содержимого колбы 4 и кристаллизации нитрозилсерной кислоты на ее стенках прилейте 2–3 мл воды через трубку 6 и ополосните стенки колбы. С помощью резиновой груши 5 прокачайте немного воздуха через колбу 4. Отметьте изменение окраски газа.

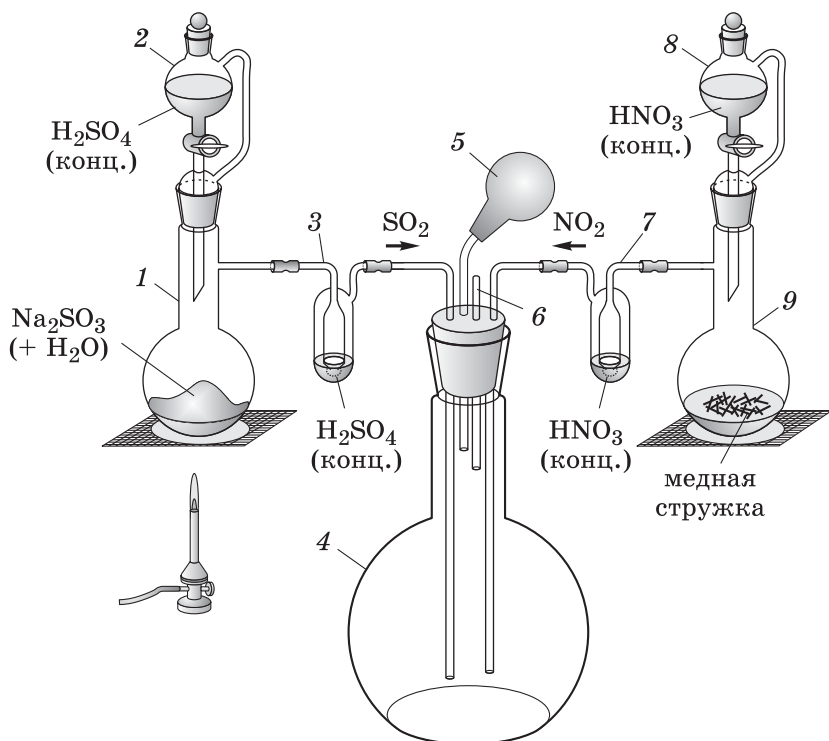


Рис. 19.2. Прибор для получения серной кислоты нитрозным способом: 1, 9 — колбы Вюрца; 2, 8 — капельные воронки; 3, 7 — промывалки с концентрированными серной и азотной кислотами; 4 — колба реакционная; 5 — груша резиновая; 6 — трубка

Вновь пропустите ток сернистого газа в колбу 4 до обесцвечивания ее содержимого, затем опять прокачайте воздух грушей.

Окисление сернистого газа повторите несколько раз, приливая при необходимости воду через трубку 6 и пропуская дополнительно оксид азота(+4) в колбу 4.

После прекращения выделения сернистого газа в колбе Вюрца 1 добавьте в колбу 4 еще 5–10 мл воды и вылейте полученную жидкость в стакан. Докажите, что получена серная кислота.

Напишите уравнения всех реакций и объясните наблюдаемые явления.

19.8.2. Тиосульфат натрия

Приготовьте в небольшой конической колбе раствор 4 г гептагидрата сульфита натрия в 25 мл воды. Разотрите в фарфоровой ступке 1,5 г серы, смочите спиртом и поместите в колбу с рас-

твором сульфита натрия. Раствор нагрейте до слабого кипения. Кипятите раствор 1–1,5 ч. Признаком окончания реакции служит почти нейтральная реакция раствора.

Полученный горячий раствор профильтруйте через бумажный фильтр на воронке для горячего фильтрования и упарьте на водяной бане до $\frac{1}{3}$ от первоначального объема. Охладите раствор до комнатной температуры.

Выпавшие кристаллы отфильтруйте на воронке Бюхнера и высушите на воздухе или фильтровальной бумаге. Взвесьте полученное вещество.

19.8.3. Выделение пентагидрата сульфата меди из продуктов взаимодействия серной кислоты с медью

Налейте в стакан 20–30 мл воды и перенесите в него смесь, оставшуюся в колбе Вюрца после завершения реакции серной кислоты с медью при получении сернистого газа (см. разд. 19.8.1).

Нагрейте содержимое стакана до 70–80 °С и профильтруйте на воронке для горячего фильтрования, фильтрат упарьте в фарфоровой чашке на водяной бане до появления кристаллической пленки на поверхности жидкости и оставьте кристаллизоваться при естественном охлаждении.

Каплю фильтрата перенесите на предметное стекло, прикройте ее покровным стеклом и рассмотрите кристаллы под микроскопом.

Кристаллы, образовавшиеся в чашке после охлаждения фильтрата, отделите на воронке со стеклянным фильтрующим дном при пониженном давлении, промойте небольшим количеством ледяной воды, перенесите на часовое стекло и просушите на воздухе при комнатной температуре.

19.9. Практикум повышенной сложности по теме «Сера»

19.9.1. Монохлорид серы

❗ Хлориды серы имеют неприятный запах и способны вызывать аллергическую реакцию!

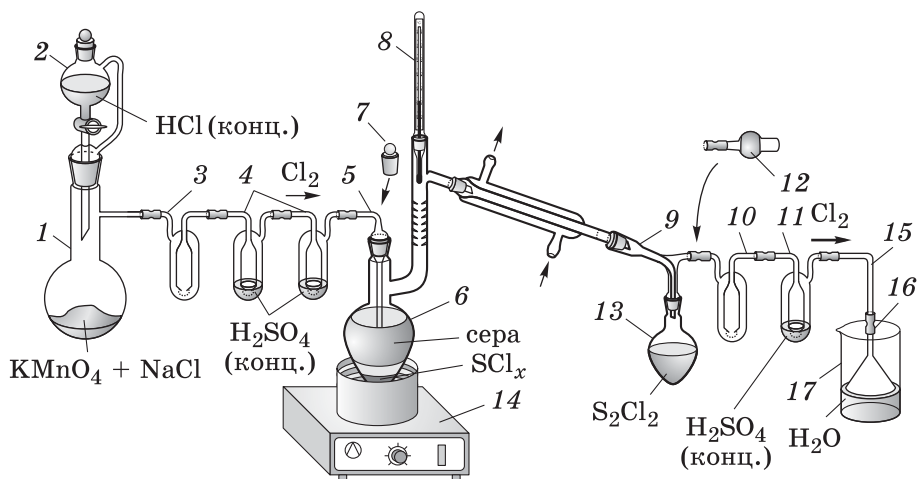


Рис. 19.3. Прибор для получения монохлорида серы:

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3, 10 — предохранительные (обратные) промывалки; 4, 11 — промывалки с концентрированной серной кислотой; 5, 15 — стеклянные трубки; 6 — прибор для перегонки; 7 — стеклянная пробка; 8 — термометр; 9 — аллонж; 12 — хлоркальциевая трубка с безводным хлористым кальцием; 13 — приемник; 14 — колбонагреватель; 16 — воронка; 17 — стакан с водой

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 19.3 (*все части прибора должны быть тщательно высушены!*).

Отсоедините колбу 6 от прибора и поместите в нее ~3 г серы. Нагрейте серу до плавления и смочите внутренние стенки колбы тонким слоем жидкой серы, непрерывно поворачивая ее до полного застывания серы. Затем установите колбу 6 на место.

Установите ровный ток хлора (через промывалку 11 должно проходить 1–2 пузырька в 1 с). После того как вся сера вступит в реакцию, уберите трубку 5, добавьте в колбу 6 еще ~1 г серы и закройте ее стеклянной пробкой 7. Затем замените промывалки 10 и 11 на хлоркальциевую трубку 12.

Осторожно нагрейте (~80 °С) содержимое колбы до полного взаимодействия получившегося дихлорида серы с добавленной серой. Затем увеличьте нагрев и отгоните фракцию монохлорида серы в предварительно взвешенный приемник 13. Отметьте температуру кипения.

Для очистки полученного продукта соберите в вытяжном шкафу прибор для перегонки в вакууме (рис. 19.4). Смажьте шлифы тонким слоем вакуумной смазки. Капилляр трубки 2 должен быть длинным, тонким и доходить почти до дна колбы 1. Для регулирования подачи воздуха через трубку 2 и создания усло-

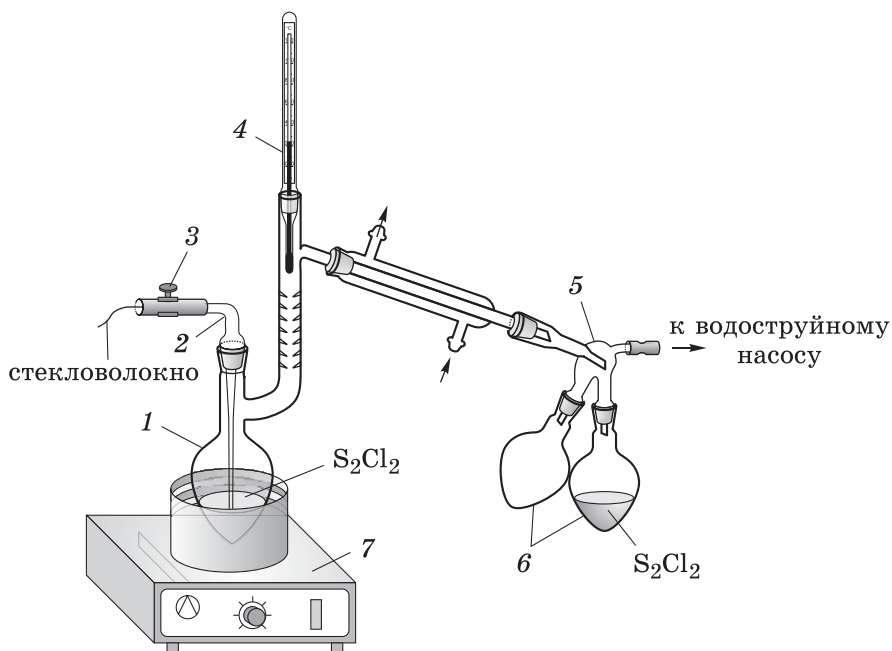


Рис. 19.4. Прибор для вакуумной перегонки хлоридов серы:
1 — прибор для перегонки; 2 — трубка с капилляром; 3 — зажим; 4 — термометр; 5 — аллонж «паук»; 6 — приемники; 7 — колба нагреватель

вий равномерного кипения жидкости в колбе установите винтовой зажим 3 на резиновой трубке с продетой через нее нитью стекловолосна. Прибор подсоедините к водоструйному насосу.

Перелейте через воронку полученный продукт из приемника 13 (рис. 19.3) в прибор для фракционной перегонки при пониженном давлении (рис. 19.4). Пустите воду в холодильник, затем включите водоструйный насос. Отрегулируйте зажим 3 так, чтобы были видны отдельные пузырьки воздуха, проскакивающие через жидкость.

Осторожно нагрейте колбу и отгоните в приемник фракцию моноклорида серы. Отметьте интервал температуры кипения фракции.

После завершения перегонки и охлаждения колбы 1 до комнатной температуры запустите воздух в прибор и выключите водоструйный насос. Отсоедините приемник с моноклоридом серы от прибора, закройте стеклянной пробкой и взвесьте.

Добавьте по несколько капель моноклорида серы в пробирки с 3–4 мл: а) воды и б) 20%-го раствора гидроксида натрия (*в вытяжном шкафу!*). Напишите уравнения реакций и объясните наблюдаемые явления.

- Как очистить посуду от хлоридов серы?

19.9.2. Хлорид тионила

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 19.5. В колбу Вюрца 1 поместите 25 г безводного сульфита натрия и смочите его 2–3 мл воды. На дно колбы прибора для перегонки 6 поместите 5 г хлорида фосфора(+5) так, чтобы трубка 5 слегка касалась вещества.

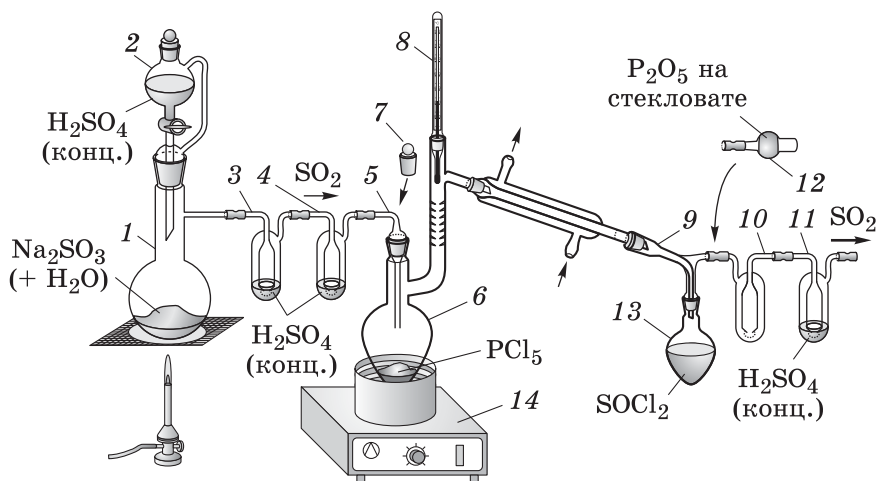


Рис. 19.5. Прибор для получения хлорида тионила:

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3, 4, 11 — промывалки с концентрированной серной кислотой; 5 — стеклянная трубка; 6 — прибор для перегонки; 7 — пробка стеклянная; 8 — термометр; 9 — аллонж; 10 — предохранительная промывалка; 12 — хлоркальциевая трубка с оксидом фосфора(+5) на стекловате; 13 — приемник; 14 — колбонагреватель

Пустите воду в холодильник. Установите ток сухого оксида серы(+4) так, чтобы через промывалку 11 проскакивало 1–2 пузырька в 1 с. Реакция начинается при комнатной температуре, дополнительное нагревание не требуется.

После того как весь хлорид фосфора(+5) вступит в реакцию, уберите трубку 5 и промывалки 10 и 11, горловину колбы прибора для перегонки 6 закройте стеклянной пробкой 7, а на выходе установите хлоркальциевую трубку 12 с оксидом фосфора(+5) на стекловате.

Включите нагрев и отгоните фракцию хлорида тионила. Приемник с хлоридом тионила закройте стеклянной пробкой и взвесьте.

19.9.3. Хлорид сульфурила

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 19.6. В каждый шарик холодильника 7 поместите тонкий рыхлый слой стеклянной ваты (*ваты берите как можно меньше!*), а на нее камфару (всего ~1 г).

Рубашку холодильника 7 вначале оставьте без воды. Установите ровный ток сернистого газа. После заполнения прибора сернистым газом пустите ток хлора. Сернистый газ должен поступать в зону реакции с небольшим избытком. Скорость прохождения газа через промывалку 9 на выходе из прибора не должна превышать 1–2 пузырька в секунду.

После того как в колбе 10 начнет собираться хлорид сульфурила, пустите очень слабый ток воды в холодильник 7 для охлаждения катализатора.

Перелейте полученную жидкость из колбы 10 в прибор для фракционной перегонки (см. рис. 3.5 на с. 48) и отгоните хлорид сульфурила. Приемник закройте стеклянной пробкой и взвесьте.

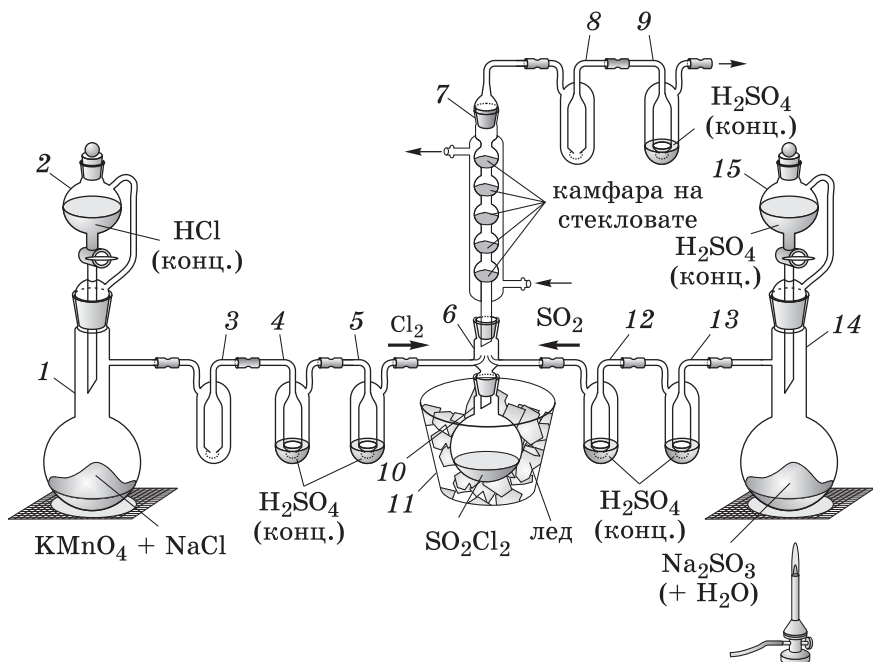


Рис. 19.6. Прибор для получения хлорида сульфурила:

1, 14 — колбы Вюрца; 2, 15 — капельные воронки; 3 — промывалка с водой; 4, 5, 9, 12, 13 — промывалки с концентрированной серной кислотой; 6 — насадка; 7 — шариковый холодильник; 8 — предохранительная (обратная) промывалка; 10 — колба круглодонная; 11 — баня с охлаждающей смесью

19.9.4. Сульфид бария

❗ Водород горюч и в смеси с кислородом или воздухом взрывоопасен! Все опыты с водородом разрешается проводить только в маске и под наблюдением преподавателя.

Соберите прибор, изображенный на рисунке 19.7. Кварцевую реакционную трубку 7 установите в печи 8 с небольшим наклоном в сторону приемника 11. Шлиф пробирки Вюрца 11 смажьте вакуумной смазкой.

Поместите в реакционную трубку 7 фарфоровую лодочку 9 с 1,5 г сульфата бария.

Закройте кран 2 и вытесните воздух из прибора током аргона из кислородной подушки. Для проверки герметичности закройте выход Г-образной трубки 14. Если прибор герметичен, то через промывалки 5 и 13 не должно проскакивать ни одного пузырька газа в течение 10 с. Затем вытесните аргон из прибора током водорода и проверьте его на чистоту (*под наблюдением преподавателя!*).

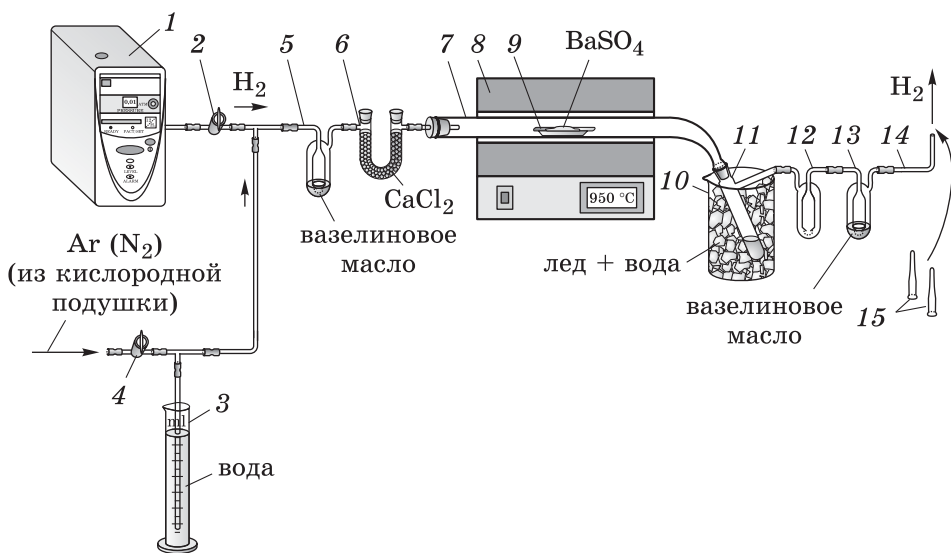


Рис. 19.7. Прибор для восстановления сульфата бария в токе водорода: 1 — генератор водорода; 2, 4 — краны; 3 — гидрозатвор; 5, 13 — промывалки с вазелиновым маслом; 6 — U-образная трубка с безводным хлористым кальцием; 7 — кварцевая реакционная трубка; 8 — печь; 9 — лодочка; 10 — баня со льдом и водой; 11 — пробирка Вюрца (приемник для образующейся воды); 12 — предохранительная (обратная) промывалка; 14 — Г-образная стеклянная трубка; 15 — пробирки для проверки водорода на чистоту

Нагрейте вещество в реакционной трубке до $950\text{ }^{\circ}\text{C}$ в токе водорода и выдержите его при этой температуре 1 ч. После охлаждения печи выключите генератор водорода и закройте кран 2. Откройте кран 4 и вытесните из прибора водород током аргона. Полученный сульфид бария перенесите в пробирку и взвесьте. Докажите, что полученный сульфид бария не содержит примеси сульфата бария.

19.9.5. Гидросульфид аммония

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 19.8. Заполните колбу Вюрца 1 на $\frac{1}{3}$ гранулированным гидроксидом натрия, а колбу Вюрца 18 — примерно на $\frac{1}{3}$ кусочками сульфида железа(+2).

Налейте 50 мл абсолютированного диэтилового эфира в колбу 7. Выход трубки 6 должен быть погружен в эфир. Пропустите через прибор ток аргона из кислородной подушки. Включите воду для охлаждения холодильника. Установите ровный ток аммиака.

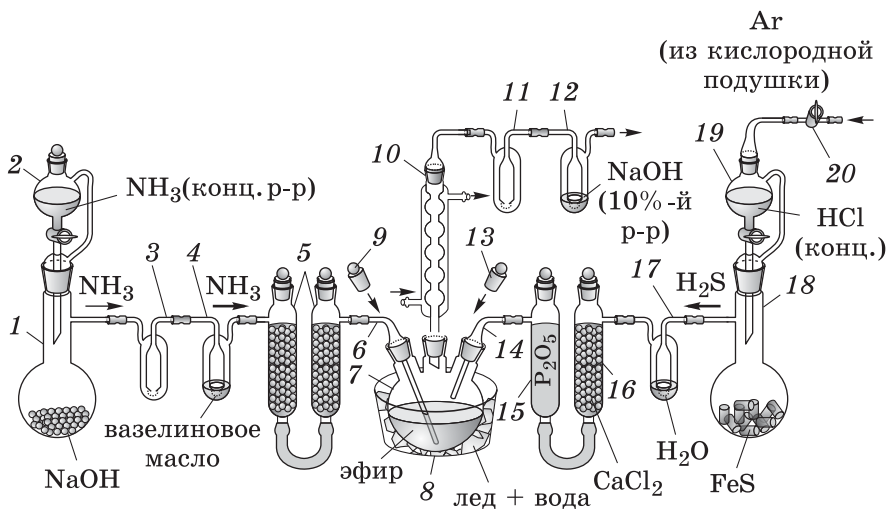


Рис. 19.8. Прибор для получения гидросульфида аммония:

1, 18 — колбы Вюрца; 2, 19 — капельные воронки; 10 — шариковый холодильник; 3, 11 — предохранительные (обратные) промывалки; 4 — счетчик пузырьков с вазелиновым маслом; 5 — колонки с твердым гидроксидом калия; 6, 14 — стеклянные трубки; 7 — колба трехгорлая; 8 — баня со льдом; 9, 13 — стеклянные пробки; 12 — промывалка с 10%-м раствором гидроксида натрия; 15 — колонка с оксидом фосфора(+5) на стекловате; 16 — колонка с безводным хлоридом кальция; 17 — промывалка с водой; 20 — кран

После насыщения эфира в колбе 7 аммиаком установите непрерывный ток сероводорода. Следите за выпадением кристаллов гидросульфида аммония и регулируйте, при необходимости, скорости подачи аммиака и сероводорода в реакционную колбу 7. После выпадения достаточного количества кристаллов перекройте вначале ток аммиака, затем сероводорода. Вытесните сероводород током аргона из кислородной подушки.

В слабом токе аргона из кислородной подушки быстро отделите от эфира и высушите выпавшие кристаллы на воронке со стеклянным фильтрующим дном при пониженном давлении. Быстро перенесите полученный гидросульфид аммония в пробирку, заполненную аргоном (*вещество не хранится!*).

19.9.6. Пероксодисульфат калия

! Перед началом работы убедитесь в надежности заземления источника тока. Не прикасайтесь руками к электродам включенного в сеть прибора.

Соберите на лабораторном столе прибор, изображенный на рисунке 19.9. Электролитическую ячейку 2 заполните 25%-м рас-

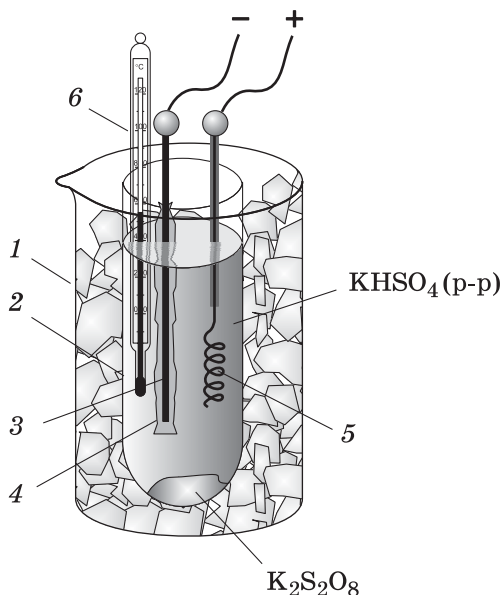


Рис. 19.9. Электролизер для получения пероксодисульфата калия: 1 — корпус электролизера; 2 — корпус электролитической ячейки; 3 — графитовый электрод; 4 — стеклоткань; 5 — платиновый электрод; 6 — термометр

твором гидросульфата калия. Графитовый электрод подсоедините к отрицательному полюсу, а платиновый — к положительному.

❗ Ошибка в определении полярности при подключении ведет к необратимому разрушению графитового электрода и загрязнению раствора!

Установите силу тока, протекающего через раствор, равной 4 А. Следите за тем, чтобы температура раствора в ячейке не превышала 40 °С. Для этого постоянно добавляйте новые порции льда в пространство между ячейкой и корпусом электролизера. Избыток воды отбирайте резиновой грушей.

Электролиз ведите в течение 1 ч, затем отключите прибор от сети и извлеките электроды из ячейки. Содержимое электролитической ячейки перенесите в стакан и оставьте медленно охлаждаться до комнатной температуры. Кристаллическое вещество отделите при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном и промойте на фильтре 5–10 мл охлажденной воды.

Полученное вещество высушите на фильтровальной бумаге, затем перенесите во взвешенную пробирку и взвесьте.

19.9.7. Гидросульфат нитрозония (нитрозилсерная кислота)

Получение дымящей азотной кислоты. Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 19.10. В колбу 1 поместите 10 г нитрата натрия и прилейте 10 мл концентрированной серной кислоты.

Включите воду для холодильника. Осторожно нагрейте колбу 1 и отгоните образующуюся азотную кислоту со скоростью 1–2 капли в 1 с. При появлении в колбе большого количества пены ослабьте нагревание. Следите за температурой перегонки. Соберите фракцию дымящей азотной кислоты с $t_{\text{кип}} = 83\text{--}86\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Отсоедините приемник с дымящей азотной кислотой от прибора, закройте пробкой и взвесьте.

Получение нитрозилсерной кислоты. Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 19.11. В колбу Вюрца 1 поместите 25 г безводного сульфита натрия и смочите его 2–3 мл воды. Налейте 2–3 мл дымящей азотной кислоты в коническую колбу 7 и поместите в баню с водой 8. Трубка 6 должна находиться над поверхностью кислоты на уровне 10–20 мм.

Пропустите ток сухого сернистого газа до прекращения его поглощения и превращения содержимого колбы 7 в кристалли-

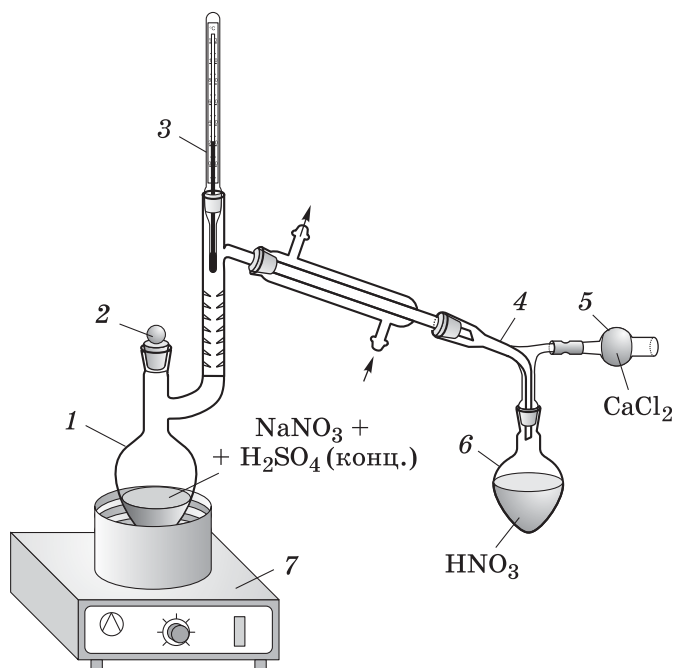


Рис. 19.10. Прибор для получения дымящей азотной кислоты:
1 — прибор для перегонки; 2 — стеклянная пробка; 3 — термометр;
4 — аллонж; 5 — хлоркальцевая трубка с безводным хлористым кальцием;
6 — колба-приемник, 7 — колбонагреватель

ческую массу или жидкость с растворенным в ней гидросульфатом нитрозония.

Пропустите ток сухого сернистого газа до прекращения его поглощения и превращения содержимого колбы 7 в кристаллическую массу или жидкость с растворенным в ней гидросульфатом нитрозония.

Для высаливания растворенного гидросульфата нитрозония приготовьте 5–10 мл дважды вымороженной (ледяной) уксусной кислоты (см. разд. 14.9.2). Добавьте свежеприготовленную ледяную уксусную кислоту в колбу 7.

! Наденьте очки! Приливайте по каплям, возможен выброс реакционной массы!

Полученное кристаллическое вещество перенесите на воронку со стеклянным фильтрующим дном (в вытяжном шкафу, в защитных очках!). Воронку плотно закройте пробкой со стеклянной трубкой и подсоедините кислородную подушку с аргоном. Включите насос, отфильтруйте вещество при пониженном давлении в слабом токе аргона.

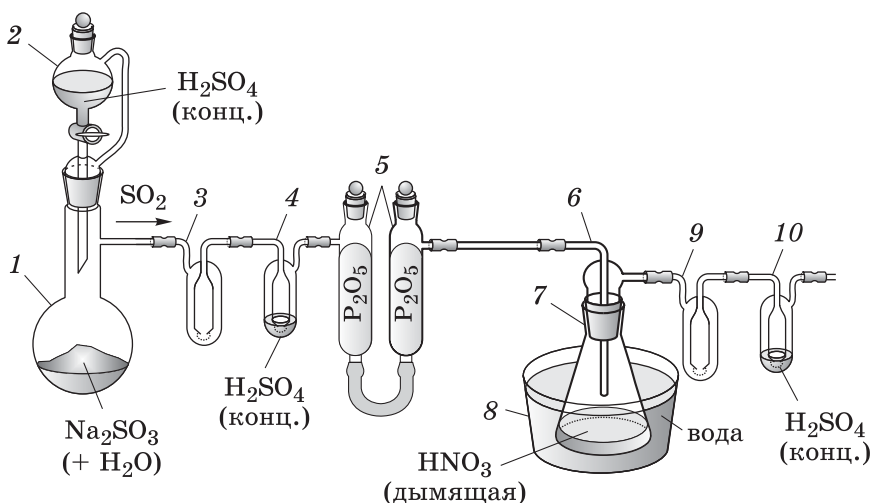


Рис. 19.11. Прибор для получения гидросульфата нитрозония:
 1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3, 9 — предохранительные (обратные) промывалки; 4, 10 — промывалки с концентрированной серной кислотой; 5 — осушительные колонки с оксидом фосфора(+5) на стекловате; 6 — стеклянная трубка; 7 — коническая колба; 8 — баня с водой

Быстро перенесите полученный гидросульфат нитрозония в пробирку, заполненную аргоном, и закройте пробкой.

20. ГАЛОГЕНЫ

- ! Опыты с галогенами проводите только в вытяжном шкафу, в маске или очках и с разрешения преподавателя!

20.1. Хлор

- ! Продукты реакции, содержащие хлор, сливайте в специальные емкости, расположенные в вытяжном шкафу (*ни в коем случае не в раковину!*). Реакционный сосуд затем ополосните 2–3 раза небольшими порциями воды (*в вытяжном шкафу!*), а промывные воды слейте в те же специальные емкости. После последнего ополаскивания реакционный сосуд промойте раствором соды или щавелевой кислоты.
- ! Вдыхание небольших количеств хлора вызывает кашель, при вдыхании больших количеств возможны тяжелые последствия, в том числе воспаление и отек легких. При тяжелом отравлении хлором до прибытия врача необходим покой и свежий воздух. При несильном отравлении пострадавшего выведите на свежий воздух до полного исчезновения симптомов отравления.

Реакции образования хлора

Для определения выделения газообразного хлора в каждом опыте используйте полоску влажной иодокрахмальной бумаги.

1. Поместите в пробирку несколько кристаллов перманганата калия и добавьте 1 мл концентрированной соляной кислоты.

Слейте раствор с осадка в другую пробирку и разбавьте его дистиллированной водой. Отметьте изменение цвета раствора после разбавления водой.

Добавьте к оставшемуся в первой пробирке осадку воду и отметьте окраску раствора.

2. Поместите в пробирку небольшое количество оксида марганца(+4) и добавьте 1 мл концентрированной соляной кислоты. Смесь слегка подогрейте. Часть образовавшегося раствора перелейте в другую пробирку и разбавьте водой. Отметьте изменение окраски раствора.

3. Поместите в пробирку немного смеси хлорида натрия и оксида марганца(+4) и из пипетки осторожно добавьте несколько капель концентрированной серной кислоты. Смесь слегка подогрейте.

4. Поместите в пробирку немного растертого в фарфоровой ступке дихромата калия и добавьте 1 мл концентрированной соляной кислоты. Пробирку слегка подогрейте.

5. Поместите в пробирку немного хлорной извести и добавьте 1 мл концентрированной соляной кислоты.

6. Внесите в пробирку небольшое количество хлората калия и добавьте 1 мл концентрированной соляной кислоты.

Напишите уравнения реакций.

Получение и свойства хлора

Соберите прибор для получения хлора (см. рис. 4.13 на с. 70).

Взаимодействие хлора с металлами. Поместите в пробирку гранулу олова и пропустите в нее ток хлора через изогнутую стеклянную трубку 8. Если реакция не начинается сразу, слегка подогрейте пробирку пламенем горелки. После завершения взаимодействия отметьте агрегатное состояние получившегося вещества.

Взаимодействие хлора с неметаллами

1. Поместите на дно пробирки небольшое количество красного фосфора и пропустите в нее ток хлора. Отметьте цвет и агрегатное состояние получившихся продуктов реакции.

2. На дно пробирки поместите несколько кристаллов иода. Пропустите в пробирку ток хлора и отметьте цвета образующихся последовательно веществ.

Взаимодействие хлора с растворами иодида и бромиды калия

1. На три полоски фильтровальной бумаги нанесите по капле раствора иодида калия. На первую добавьте каплю концентрированной соляной кислоты, на вторую — каплю 10%-го раствора гидроксида натрия, третью оставьте без изменения (нейтральная среда). Поочередно поднесите полоски бумаги с растворами реагентов под струю хлора и держите до прекращения изменения окраски. Отметьте изменение цвета в каждом случае.

2. Проведите аналогичные опыты с раствором бромиды калия. Напишите уравнения реакций и объясните наблюдаемые явления

- Как изменение pH раствора влияет на состав продуктов взаимодействия раствора иодида калия с хлором?

Образование клатрата хлора. Налейте в две пробирки по 5–7 мл дистиллированной воды, поместите пробирки в стакан со льдом и пропустите в одну из них ток хлора. Объясните наблюдаемые явления.

Хлорная вода

1. Испытайте действие хлорной воды на универсальную индикаторную бумагу.

2. Налейте в пробирку 2 мл воды, добавьте по капле растворов иодида и бромида калия, прилейте неполярный растворитель (бензол, тетрахлорид углерода) до образования слоя ~5 мм. К полученному раствору добавьте по каплям хлорную воду, тщательно перемешивая содержимое пробирки после прибавления каждой капли. Отметьте последовательные изменения окраски слоя неполярного растворителя.

- Почему при подогревании колбы Вюрца со смесью перманганата калия и соляной кислоты возможно выделение дополнительного количества хлора?
- Как зависит растворимость хлора в воде от температуры?
- Каков состав и температура плавления клатрата хлора?
- Какова окраска слоя неполярного растворителя с растворенным в нем: а) бромом; б) иодом?
- На основании проделанных опытов сделайте вывод о соотношении окислительных свойств хлора, брома и иода.

20.2. Бром

❗ Опыты с бромом выполняйте только в вытяжном шкафу, под наблюдением преподавателя, в защитных перчатках и очках!

❗ Пары брома способны вызвать отравление, слезоотделение, удушье и поражение дыхательных путей. Попадание жидкого брома на кожу приводит к образованию трудно заживающих язв. Наливать бром в пробирки и капельные воронки следует осторожно через воронку в защитных перчатках и очках под наблюдением преподавателя. Для нейтрализации попавшего на кожу брома используйте 2–3%-й раствор тиосульфата натрия. При случайном вдыхании паров брома необходимо вдыхание паров разбавленного (2%-го) раствора аммиака и свежий воздух.

Получение и свойства брома

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 20.1. Пробирку Вюрца 1 закрепите в лапке штатива выше

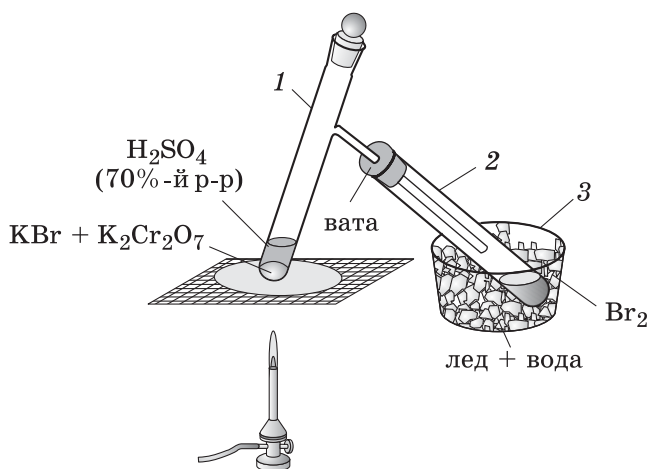


Рис. 20.1. Прибор для получения брома:

1 — пробирка Вюрца; 2 — пробирка-приемник; 3 — баня со льдом и водой

отводной трубки и поместите в нее смесь 5 г бромиды калия и 2,5 г дихромата калия. Отводную трубку опустите в пробирку-приемник 2, охлаждаемую в бане 3 со льдом и водой.

Пипеткой прилейте в пробирку 1 с реакционной смесью 5 мл 70%-й серной кислоты, пробирку закройте пробкой.

❗ Не наклоняйтесь над пробиркой! Реакция идет с выделением тепла, и возможен выброс реакционной массы!

Осторожно нагрейте реакционную смесь пламенем газовой горелки через асбестовую сетку и отгоните бром в пробирку-приемник 2.

Напишите уравнения реакций и объясните наблюдаемые явления.

Взаимодействие брома с металлами

1. Закрепите жаростойкую пробирку в лапке штатива над баней с песком (рис. 20.2) и налейте в нее небольшое количество (~0,5 мл) жидкого брома.

Возьмите тигельными щипцами или длинным пинцетом узкую полоску алюминиевой фольги (или небольшую гранулу алюминия), предварительно зачищенную напильником, и бросьте в пробирку с бромом.

❗ Осторожно! Реакция начинается не сразу, идет бурно с расплавлением металла и иногда с разрушением пробирки!

2. В пробирку с 0,5 мл жидкого брома, закрепленную в лапке штатива над баней с песком, бросьте гранулу олова.

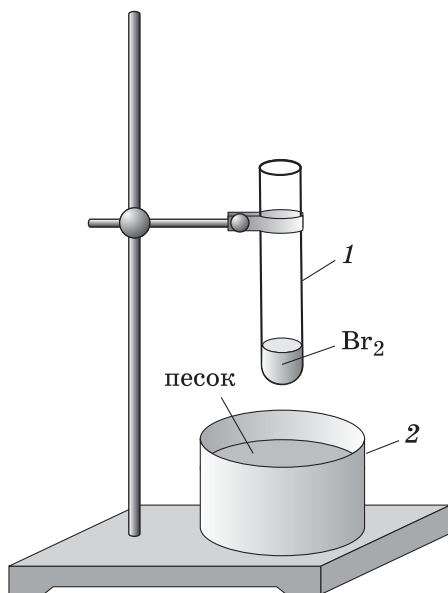


Рис. 20.2. Изучение свойств брома:
1 — пробирка; 2 — баня с песком

Взаимодействие брома с неметаллами. В пробирку с 0,5 мл жидкого брома, закрепленную в лапке штатива над баней с песком, стряхните со шпателя немного порошка сухого красного фосфора. После завершения реакции рассмотрите полученные бромиды фосфора. Отметьте их цвет и агрегатное состояние.

Бромная вода

1. В пробирку налейте 1–2 капли брома и добавьте 5 мл дистиллированной воды. Перемешайте содержимое стеклянной палочкой. Отметьте окраску раствора. Налейте 1–2 мл полученного раствора в другую пробирку. Добавьте небольшое количество (слой ~5 мм) неполярного растворителя и тщательно перемешайте содержимое пробирки. Добавьте по каплям 1 М раствор гидроксида натрия до прекращения изменения окраски, тщательно перемешивая содержимое пробирки после добавления каждой капли щелочи.

В пробирку с полученным щелочным раствором добавьте по каплям 1 М раствор серной кислоты до кислой реакции, перемешивая содержимое пробирки после каждой новой капли. Отметьте изменение окраски раствора и слоя неполярного растворителя при подкислении.

2. К бромной воде добавьте по каплям раствор иодида калия.

3. К бромной воде, содержащей нерастворенный бром, добавьте немного концентрированного раствора бромида калия и перемешайте. Отметьте изменение окраски раствора.

- Какова растворимость брома в воде? Как она зависит от температуры?

20.3. Иод

- ! Пары иода имеют неприятный запах, похожий на запах хлора, раздражающе действуют на слизистые оболочки. Для нейтрализации иода используйте тиосульфат натрия.

Получение и свойства иода

Способ 1

К 20 мл раствора, содержащего 3,5 г иодида калия, добавьте 5 мл 20%-й серной кислоты и 15 мл 3%-го раствора пероксида водорода. Выпавший осадок иода отделите и просушите при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, затем поместите в бюкс и взвесьте.

Способ 2

Поместите в прибор для сублимации иода (см. рис. 4.8 на с. 64) 1 г иодида калия и 1 г оксида марганца(+4), перемешайте смесь стеклянной палочкой и смочите несколькими каплями концентрированной серной кислоты. Нагрейте смесь пламенем горелки через асбестовую сетку до полной возгонки иода. Полученный иод соберите в бюкс и взвесьте.

Напишите уравнение реакции и объясните наблюдаемые явления.

1. В четыре пробирки налейте по 5 мл дистиллированной воды, растворов хлорида натрия, бромида калия и иодида калия соответственно. В каждую пробирку опустите по несколько небольших кристаллов иода. Содержимое пробирок перемешайте. Сравните окраску полученных растворов.

2. Поместите в пробирку с 5 мл воды несколько крупинок иода и нагрейте. Отметьте изменение окраски раствора иода в воде при нагревании и охлаждении.

3. Налейте в пробирку 1 мл 10%-й серной кислоты. Добавьте 1 мл концентрированного раствора бромата калия и небольшой кристалл иода. Содержимое пробирки тщательно перемешайте и прибавьте несколько капель неполярного растворителя. Встряхните содержимое пробирки. Отметьте окраску слоя неполярного растворителя.

4. Смешайте в фарфоровой чашке ~0,2 г свежеприготовленного порошка алюминия и немного мелких кристаллов иода (*в вытяжном шкафу!*). Добавьте каплю воды. Объясните наблюдаемые явления.

- Какова растворимость иода в воде? Как зависит растворимость иода от температуры?

20.4. Галогениды металлов

Малорастворимые галогениды

В пробирки с растворами хлорида натрия, бромида и иодида калия, подкисленных уксусной кислотой, добавьте по несколько капель раствора нитрата свинца. Отметьте цвет образующихся осадков.

- Какова растворимость галогенидов свинца в воде? Как меняется растворимость галогенидов свинца в ряду фторид—хлорид—бромид—иодид?
- Какова растворимость галогенидов серебра в воде? Как меняется растворимость галогенидов серебра в ряду фторид—хлорид—бромид—иодид? Какой цвет имеют эти галогениды? Растворяются ли они в кислотах, концентрированном растворе аммиака, растворе тиосульфата натрия?

Окисление галогенид-ионов

1. К растворам хлорида натрия, бромида и иодида калия в пробирках добавьте по несколько капель раствора перманганата калия. Отметьте окраску растворов. В каждую из пробирок добавьте по каплям 20%-й раствор серной кислоты до прекращения изменения окраски раствора. Отметьте, как изменяется окраска раствора при увеличении количества добавляемой кислоты.

2. К растворам бромида и иодида калия в пробирках добавьте раствор дихромата калия. Затем прилейте в пробирки по каплям 20%-й раствор серной кислоты до прекращения изменения окраски раствора. Добавьте в пробирки несколько капель неполярного растворителя. Встряхните пробирки и отметьте окраску слоя неполярного растворителя.

3. К растворам бромида и иодида калия в пробирках прилейте 3%-й раствор пероксида водорода. Затем прилейте в пробирки по каплям 20%-й раствор серной кислоты до прекращения изменения окраски раствора.

Напишите уравнения реакций и объясните наблюдаемые явления.

- Для объяснения наблюдаемых явлений сравните стандартные окислительно-восстановительные потенциалы галогенид-ионов и используемых окислителей.
- Постройте график $E^\circ = f(\text{pH})$ для $\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}$, Cl_2/Cl^- , Br_2/Br^- , I_2/I^- и определите pH, при котором возможно окисление каждого из галогенид-ионов перманганатом при равенстве всех активностей (кроме H^+) единице.

Взаимодействие хлорида натрия, бромида и иодида калия с концентрированной серной кислотой

Для определения состава выделяющихся газов при взаимодействии галогенидов металлов с концентрированной серной кислотой подготовьте:

а) увлажненные полоски универсальной индикаторной бумаги для определения наличия галогеноводородов и присутствия кислотных оксидов;

б) полоски фильтровальной бумаги, смоченные подкисленным раствором перманганата калия, для выявления восстановителей;

в) полоски фильтровальной бумаги, смоченные раствором нитрата или ацетата свинца для определения иодоводорода и сероводорода.

В три пробирки поместите немного (примерно по 0,5 г) хлорида натрия, бромида калия и иодида калия соответственно. Добавьте в пробирки по 1 мл концентрированной серной кислоты.

Поместите на каждую из пробирок на непродолжительное время полоску увлажненной универсальной индикаторной бумаги, затем полоски фильтровальной бумаги, смоченные раствором перманганата калия и раствором соли свинца. Отметьте изменение цвета полосок в каждом случае.

- Сделайте вывод о составе газообразных продуктов реакции в каждом из опытов.
- Какой из галогеноводородов является более сильным восстановителем?

Взаимодействие бромида и иодида калия с концентрированной ортофосфорной кислотой

В две пробирки поместите немного (примерно по 0,5 г) бромида и иодида калия. Добавьте в пробирки по 1 мл концентрированной ортофосфорной кислоты и слегка подогрейте.

Для определения состава выделяющегося газа используйте, как и в предыдущем опыте, увлажненные полоски универсальной индикаторной бумаги и полоски фильтровальной бумаги, смоченные подкисленным раствором перманганата калия и раствором нитрата свинца.

Напишите уравнения всех реакций и объясните наблюдаемые явления.

- Объясните различие продуктов взаимодействия галогенидов с концентрированными серной и ортофосфорной кислотами.

20.5. Галогениды водорода

! Все опыты с галогеноводородами проводите только в вытяжном шкафу!

Хлороводород и соляная кислота

Для получения хлороводорода соберите прибор, изображенный на рисунке 20.3. В колбу Вюрца 1 поместите ~15 г хлорида натрия и смочите его 2–3 мл концентрированной соляной кис-

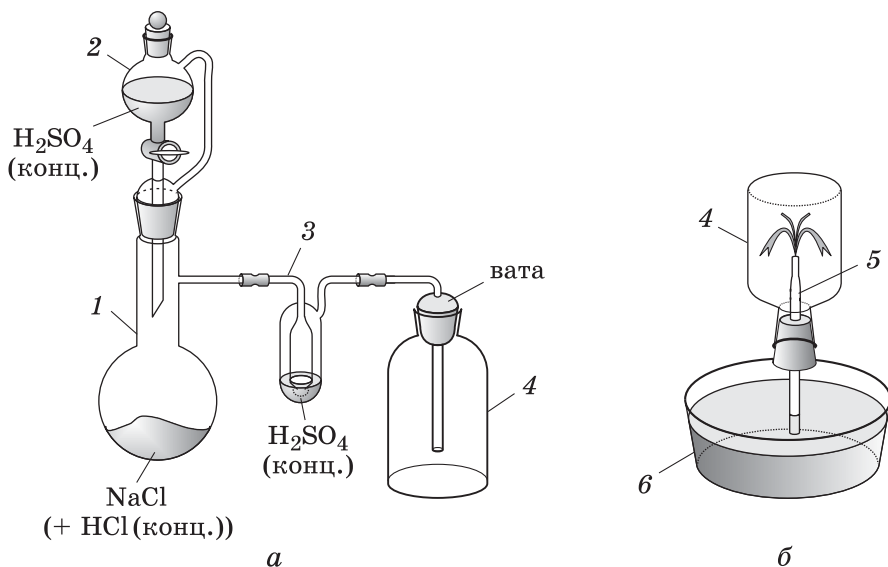


Рис. 20.3. Получение хлороводорода:

а — заполнение банки хлороводородом; б — демонстрация опыта «фонтанчик».

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — промывалка с концентрированной серной кислотой; 4 — банка; 5 — трубка с оттянутым концом; 6 — кристаллизатор с водой

лоты. В капельную воронку 2 налейте 20–30 мл концентрированной серной кислоты (но не более $\frac{2}{3}$ объема воронки). Для дополнительного осушения хлороводорода и в качестве счетчика пузырьков присоедините к колбе Вюрца промывалку с концентрированной серной кислотой 3.

Осторожно приоткройте кран капельной воронки 2 и, медленно, по каплям, добавляя концентрированную серную кислоту в колбу 1, добейтесь равномерного тока хлороводорода через промывалку 3.

Заполните хлороводородом сухую толстостенную банку 4 (рис. 20.3, а). Закройте ее резиновой пробкой со стеклянной трубкой 5 с оттянутым концом, обращенным внутрь. Для ускорения появления фонтана капните 1–2 капли воды в трубку 5, сразу же закройте трубку пальцем, переверните банку вверх дном и погрузите наружную часть трубки 5 в кристаллизатор с водой 6. Уберите под водой палец с трубки.

После заполнения банки 4 водой, переверните ее и перелейте содержимое в стакан. С помощью универсальной индикаторной бумаги определите pH полученного раствора.

- Предложите способ контроля полноты заполнения склянки хлороводородом.
- Какими еще способами можно получить хлороводород (в лаборатории и промышленности)?
- Какова растворимость хлороводорода в воде?
- Какова процентная концентрация промышленной соляной кислоты?

Бромоводород и бромоводородная кислота

Соберите прибор, изображенный на рисунке 20.4. В большую пробирку Вюрца 1 поместите 1 г красного фосфора, смоченного 2–3 каплями воды. В капельную воронку 2 налейте 5 мл брома. Присоедините небольшую U-образную трубку 3, заполненную стеклянной ватой, смешанной с красным фосфором.

Трубку 4 опустите в пробирку-приемник 5 с 5 мл воды, охлаждаемую в бане со льдом 6. Трубка 4 должна доходить почти до самой поверхности воды, но не касаться ее. Подготовьте стакан с холодной водой 7. По каплям добавляйте бром в пробирку 1 с красным фосфором. Если реакция протекает слишком энергично, охладите пробирку Вюрца 1 в стакане 7 с холодной водой. Если реакция замедлилась, подогрейте пробирку Вюрца теплой водой ($\sim 50^\circ\text{C}$).

Налейте в пробирку 2 мл воды, прилейте каплю полученной кислоты и добавьте каплю раствора нитрата серебра.

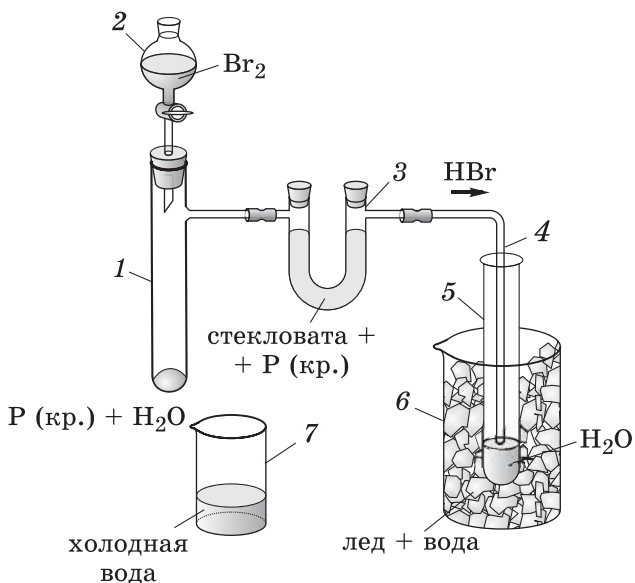


Рис. 20.4. Прибор для получения бромоводорода:

1 — пробирка Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — U-образная трубка с красным фосфором на стекловате; 4 — изогнутая стеклянная трубка; 5 — пробирка-приемник; 6 — баня со льдом; 7 — стакан с холодной водой

Поместите в три пробирки небольшие количества магния, цинка и карбоната кальция соответственно. Добавьте к ним по 1–2 мл бромоводородной кислоты из пробирки-приемника.

- Какова растворимость бромоводорода в воде?

Иодоводород и иодоводородная кислота

Способ 1

Соберите прибор, изображенный на рисунке 20.5. В пробирку Вюрца 1 поместите 1 г иода и 0,3 г красного фосфора. Для очистки иодоводорода от паров иода поместите в среднюю часть трубки 3 стекловату, смешанную с красным фосфором.

Изогнутую стеклянную трубку 4 опустите в пробирку-приемник 5 с 5 мл воды, охлаждаемую в бане со льдом 6. Трубка должна доходить почти до самой поверхности воды, но не касаться ее. Наберите в пипетку 2 (вставленную в резиновую пробку) немного воды, закройте пробкой пробирку Вюрца и добавьте 2–3 капли воды из пипетки в реакционную смесь. Если взаимодействие будет происходить слишком медленно, подогрейте пробирку Вюрца 1 в стакане 7 с горячей водой.

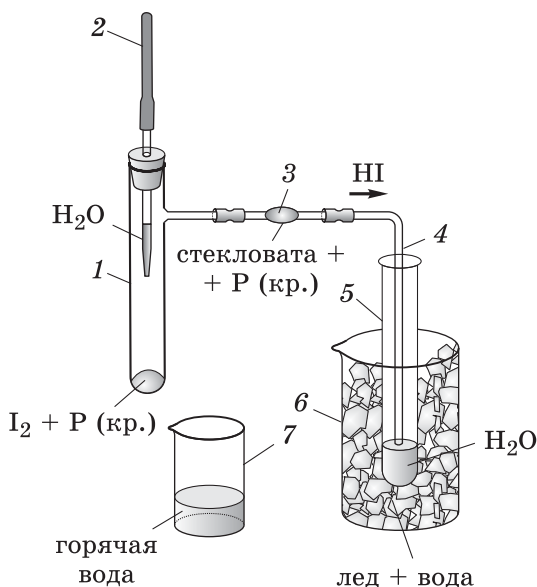


Рис. 20.5. Прибор для получения иодоводорода взаимодействием иода и красного фосфора с водой:

1 — пробирка Вюрца; 2 — пипетка; 3 — трубка, заполненная красным фосфором на стекловате; 4 — изогнутая стеклянная трубка; 5 — пробирка-приемник; 6 — баня со льдом; 7 — стакан с горячей водой

Способ 2

Соберите прибор, изображенный на рисунке 20.6. В колбу Вюрца 1 поместите ~15 г сульфида железа(+2), в капельную воронку 2 налейте 20–30 мл 20%-й серной кислоты. В реактор 5 внесите 1 г иода, ~20 мл воды и поместите перемешивающий магнитный стержень.

Включите магнитную мешалку и по каплям добавляйте кислоту из воронки 2 к сульфиду железа в колбе Вюрца. Пропускайте сероводород через иодную воду в реакторе 5 до полного ее обесцвечивания.

Полученный раствор профильтруйте на воронке с бумажным фильтром для отделения выпавшей серы.

Испытайте отношение полученной кислоты к 3%-му раствору пероксида водорода, раствору нитрата серебра, цинку.

Оставьте раствор полученной иодоводородной кислоты в открытом стакане до следующего занятия и отметьте изменение окраски раствора при длительном стоянии на воздухе.

- Какова растворимость иодоводорода в воде?
- Почему раствор иодоводорода на воздухе постепенно окрашивается в желтый цвет?

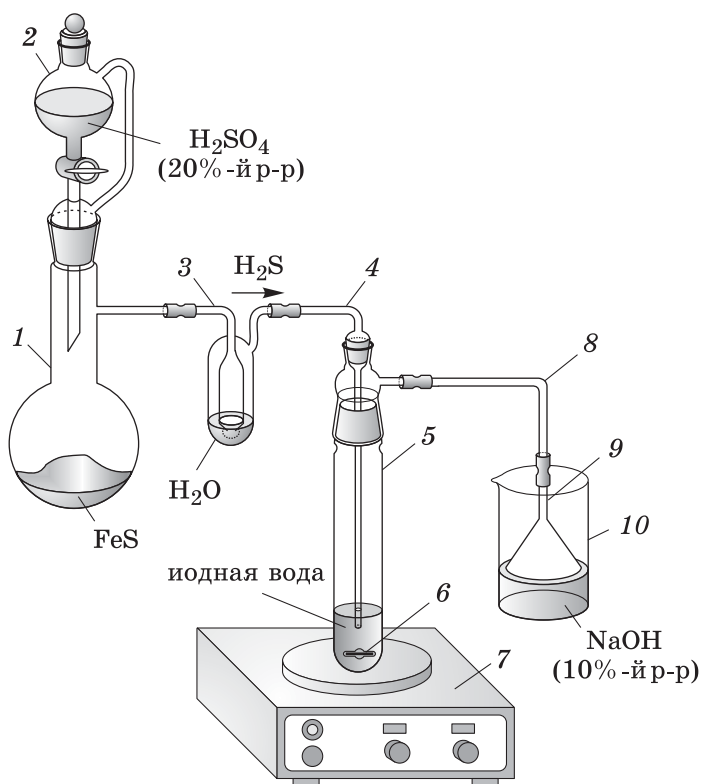


Рис. 20.6. Прибор для получения иодоводорода взаимодействием иодной воды и газообразного сероводорода:

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — промывалка с водой; 4, 8 — изогнутые стеклянные трубки; 5 — реактор; 6 — перемешивающий магнитный стержень; 7 — магнитная мешалка; 9 — воронка; 10 — стакан с 10%-м раствором щелочи

20.6. Синтезы по теме «Галогены»

20.6.1. Хлориды кобальта(+2), никеля(+2), хрома(+3) (хлорирование металлов)

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 20.7.

Взвесьте 0,5 г порошка металла и в фарфоровой лодочке 6 поместите его в реакционную трубку 5.

Установите ровный ток хлора, добавляя по каплям концентрированную соляную кислоту из капельной воронки 2 в колбу Вюрца 1 со смесью перманганата калия и хлорида натрия. После

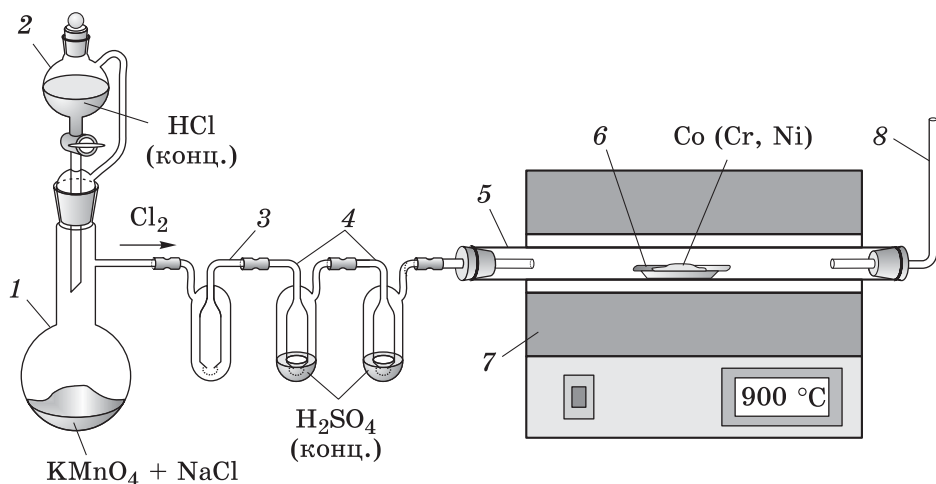


Рис. 20.7. Прибор для получения хлоридов металлов:

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — предохранительная (обратная) промывалка; 4 — промывалка с концентрированной серной кислотой; 5 — кварцевая реакционная трубка; 6 — лодочка; 7 — трубчатая печь; 8 — стеклянная трубка

заполнения прибора хлором повысьте температуру до 850–900 °C и хлорируйте при этой температуре 1 ч.

❗ При получении хлорида хрома(+3) установите ток хлора так, чтобы образующийся хлорид хрома(+3) оставался в реакторе и не закупоривал выход из реакционной трубки 5.

После завершения синтеза охладите полученное вещество в токе хлора, затем закройте кран капельной воронки 2, сдвиньте печь с реакционной трубки, отсоедините ее от прибора и извлеките вещество.

❗ Хлориды кобальта(+2) и никеля(+2) очень гигроскопичны, на воздухе быстро поглощают влагу, образуя кристаллогидраты. После извлечения из реактора их рекомендуется сразу же поместить в оттянутые пробирки и запаковать.

- Как объяснить химическую инертность безводного хлорида хрома(+3)? Как перевести безводный хлорид хрома(+3) в растворимое состояние?
- Как меняют цвет безводные хлориды кобальта(+2) и никеля(+2) на воздухе? Кристаллогидраты какого состава при этом образуются?

20.6.2. Моногидрат тетрахлороиодата(+3) калия

Окисление иодида калия хлором в соляной кислоте. Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 20.8.

Налейте в реактор 6 раствор 3 г иодида калия в 7 мл воды и добавьте 1–2 мл концентрированной соляной кислоты. Установите ток хлора 1–2 пузырька в секунду на выходе из прибора. Хлор пропускайте до тех пор, пока весь выпавший первоначально иод не прореагирует с хлором и раствор не приобретет светло-желтую окраску.

После завершения реакции и прекращения поглощения хлора охладите реактор в стакане со льдом и водой.

Окисление иода хлоратом калия в соляной кислоте. Приготовьте в стакане смесь 1 г хлората калия и 2 г тонкоизмельченного иода, добавьте к ней 1 мл воды. Нагрейте стакан со смесью на водяной бане до 40–50 °С. Из закрепленной над стаканом капельной воронки по каплям прибавьте концентрированную соляную кислоту до полного растворения иода. Выдержите стакан

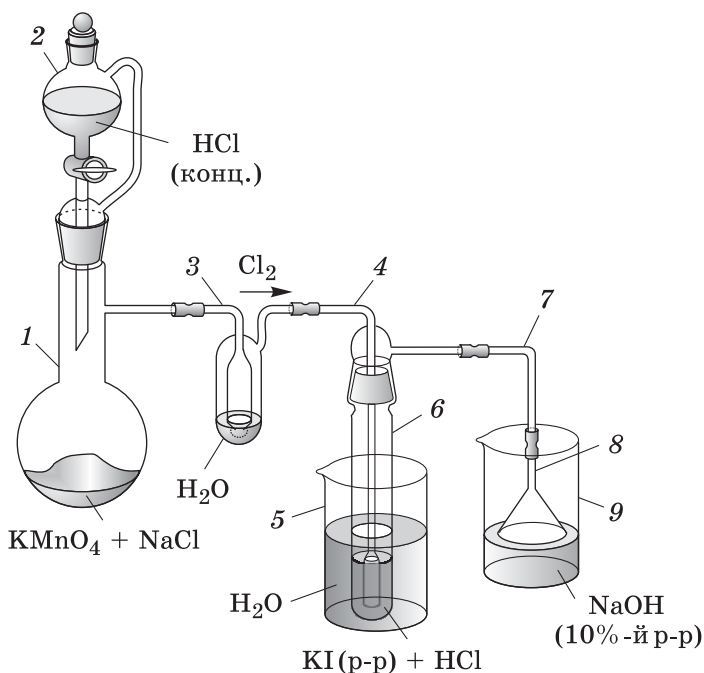


Рис. 20.8. Прибор для получения моногидрата тетрахлороиодата(+3) калия:

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — промывалка с водой; 4 — стеклянная трубка; 5 — стакан с водой; 6 — реактор; 7 — изогнутая стеклянная трубка; 8 — воронка; 9 — стакан с раствором щелочи

при этой температуре 15–20 мин. Раствор декантируйте с осадка непрореагировавшего хлората калия и охладите в воде со льдом.

Окисление соляной кислоты иодатом калия (или периодатом калия). Поместите в стакан 2 г тонкоизмельченного иодата калия (или периодата калия). Из закрепленной над стаканом капельной воронки по каплям добавьте в стакан концентрированную соляную кислоту. Каждую новую порцию кислоты подавайте только после полного выделения газа. После того как весь иодат калия (или периодат калия) вступит в реакцию, полученный раствор нагрейте на водяной бане до 40–50 °С, а затем охладите в воде со льдом.

Окисление иода иодатом калия в соляной кислоте. Поместите в стакан смесь 3 г иодата калия и 1 г иода. Из закрепленной над стаканом капельной воронки по каплям добавьте концентрированную соляную кислоту (~10 мл), нагрейте стакан на водяной бане до полного растворения реагентов, а затем охладите в воде со льдом.

Окисление иодида калия иодатом калия в соляной кислоте. Поместите в стакан смесь 2,7 г иодата калия и 1 г иодида калия. Из закрепленной над стаканом капельной воронки по каплям добавьте 8 мл концентрированной соляной кислоты, затем смесь нагрейте на водяной бане до растворения образующегося ранее иода. Охладите раствор в воде со льдом.

Окисление иода нитратом калия в соляной кислоте. Поместите в стакан смесь 3 г нитрата калия и 1 г измельченного иода. Из закрепленной над стаканом капельной воронки по каплям добавьте 10 мл концентрированной соляной кислоты. Смесь нагрейте на водяной бане до 40–50 °С до растворения иода. Охладите раствор в воде со льдом.

Кристаллический моногидрат тетрахлороиодата(+3) калия, полученный одним из описанных выше способов, отделите при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, высушите на фильтровальной бумаге и поместите в пробирку.

Небольшое количество кристаллов поместите в пробирку, растворите в воде, добавьте ~1 мл четыреххлористого углерода, затем встряхните пробирку. Отметьте цвет органического слоя. Несколько кристаллов растворите в 10%-м растворе гидроксида калия.

Напишите уравнения реакций, объясните наблюдаемые явления.

20.6.3. Хлорат калия

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 20.9.

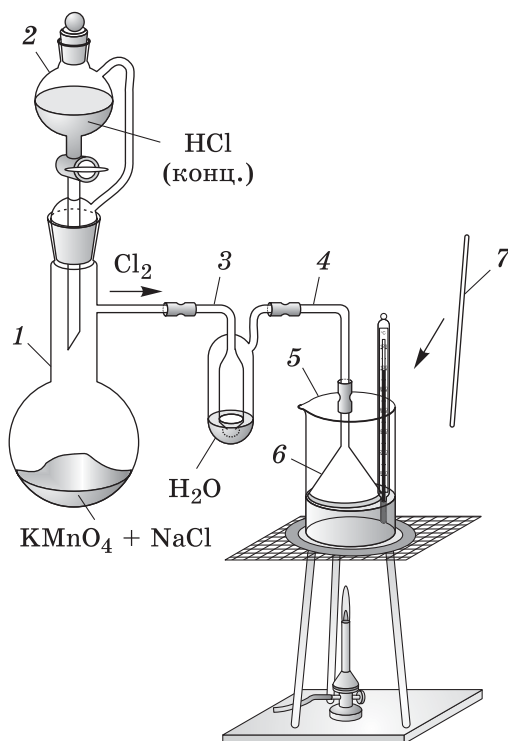


Рис. 20.9. Прибор для получения хлората калия:

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — промывалка с водой; 4 — изогнутая стеклянная трубка; 5 — стакан; 6 — воронка; 7 — стеклянная палочка

Налейте 25–30 мл 50%-го раствора гидроксида калия в стакан 5, нагрейте воду в стакане до 70–80 °С. Установите воронку 6 так, чтобы она слегка касалась поверхности раствора.

Пропустите через горячий раствор (70–80 °С) ток хлора в течение 30 мин. После завершения взаимодействия (как в этом убедиться?) охладите стакан с раствором вначале на воздухе, а затем в бане со льдом и водой.

Выпавшие кристаллы отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, затем высушите на фильтровальной бумаге и рассмотрите под микроскопом. Если в полученном веществе присутствуют примеси хлорида калия (кристаллы кубической формы), проведите перекристаллизацию из минимального количества воды. Чистое вещество поместите в пробирку и взвесьте.

- Как можно доказать, что в хлорате калия есть примесь хлорида калия?

! Опыты с хлоратом калия проводите только в вытяжном шкафу, в защитной маске или очках и под наблюдением преподавателя!

1. В фарфоровую чашку поместите несколько кристаллов хлората калия и осторожно смочите тремя-четырьмя каплями концентрированной серной кислоты.

2. К небольшому количеству хлората калия в пробирке добавьте несколько капель концентрированной соляной кислоты. Поднесите к горлышку пробирки полоску влажной иодокрахмальной бумаги.

3. Поместите в пробирку равные количества (примерно по 0,5 г) хлората калия и щавелевой кислоты и добавьте 2–3 мл 20%-й серной кислоты. Реакционную смесь в пробирке медленно нагрейте на водяной бане. Поднесите к пробирке полоску влажной иодокрахмальной бумаги.

4. Несколько кристаллов хлората калия смешайте в фарфоровой чашке стеклянной палочкой (*осторожно!*) с равным по объему количеством сахарной пудры. *Опустите створки вытяжного шкафа!* Поднесите к смеси длинную стеклянную палочку, смоченную концентрированной серной кислотой.

Объясните наблюдаемые явления.

20.6.4. Бромат калия

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 20.9.

В стакане 5 приготовьте раствор 5 г бромиды калия и 10,2 г гидроксида натрия в 45 мл воды.

Нагрейте раствор в стакане 5 до 50 °С и пропустите ток хлора до насыщения. Окончание реакции можно определить по изменению рН раствора. Перед определением рН с помощью универсальной индикаторной бумаги пробу раствора разбавьте водой и прокипятите до полного удаления свободных галогенов (иодокрахмальная бумага не должна изменять цвет).

После завершения реакции охладите раствор вначале до комнатной температуры, затем в бане со льдом и водой. Кристаллическое вещество отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, высушите на фильтровальной бумаге и взвесьте.

При наличии примеси бромида проведите перекристаллизацию из минимального количества воды. Проведите идентификацию полученного вещества.

20.6.5. Иодноватая кислота

По методике, изложенной в разделе 15.6.4, получите 8–10 мл дымящей (безводной) азотной кислоты (плотность безводной кислоты около 1,5 г/мл).

Взвесьте в фарфоровой чашке рассчитанное количество иода и осторожно прилейте к нему кислоту. Поставьте чашку на водяную баню и подогрейте до 50–60 °С. Нагревание продолжайте до полного растворения иода. Только после того как исчезнет окраска иода, нагрейте баню до кипения и выпарите раствор досуха.

Растворите небольшое количество получившейся иодноватой кислоты в воде и поместите в две пробирки. В одну пробирку прилейте раствор иодида калия, в другую — раствор сульфата железа(+2).

Напишите уравнения всех реакций, объясните наблюдаемые явления.

- Каким еще способом можно получить иодноватую кислоту?

20.6.6. Иодат калия

Поставьте стакан с 20 мл воды на треножник с асбестовой сеткой и растворите при нагревании 5 г тонкорастертого перманганата калия.

В полученный горячий раствор внесите небольшими порциями 2,5 г мелкоизмельченного иода. Для инициирования реакции добавьте 0,1 г иодида калия. Закройте стакан часовым стеклом. Нагревайте раствор до полного расходования всего взятого иода.

Горячий раствор профильтруйте через бумажный складчатый фильтр на воронке для горячего фильтрования. Стакан с фильтратом охладите сначала на воздухе, затем в бане со льдом. Кристаллы иодата калия отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, затем высушите на фильтровальной бумаге и взвесьте.

Проведите идентификацию полученного вещества.

20.6.7. Кислый иодат калия

Установите стакан с 20 мл дистиллированной воды на трехножке с асбестовой сеткой. Добавьте 5 г хлората калия и перемешайте содержимое стакана стеклянной палочкой. Подготовьте 6,5 г тонкоизмельченного иода.

Вначале внесите в стакан небольшое количество иода на кончике шпателя. Накройте стакан часовым стеклом и медленно нагрейте горелкой через асбестовую сетку. Для ускорения реакции добавьте 1–2 капли соляной кислоты. Следующую порцию иода вносите только после расходования предыдущей порции и обесцвечивания раствора. Если после добавления иода окраска не исчезает, добавьте несколько кристаллов хлората калия до обесцвечивания раствора.

После завершения реакции охладите полученный раствор. Выпавшие кристаллы отделите фильтрованием на бумажном фильтре и высушите на воздухе.

20.6.8. Периодат калия

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 20.9 (см. с. 240).

Приготовьте в стакане раствор 1,4 г хлората калия в 20 мл воды, затем добавьте 1 г иода и 2 г гранулированного гидроксида калия. Стакан поместите в водяную баню и при слабом нагревании (50–60 °C) пропустите через раствор ток хлора в течение 1 ч.

Полученный раствор охладите до комнатной температуры и осторожно добавьте 10%-й раствор азотной кислоты до нейтральной или слабокислой реакции. Поместите стакан с раствором в баню со льдом и водой. Выпавшие кристаллы отделите фильтрованием на бумажном фильтре. Взвесьте полученное вещество и проведите его идентификацию.

- Возможно ли окисление $\text{Mn}(+2)$ до $\text{Mn}(+7)$ в кислотной среде периодатом калия?

20.7. Практикум повышенной сложности по теме «Галогены»

20.7.1. Трихлорид иода

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 20.10.

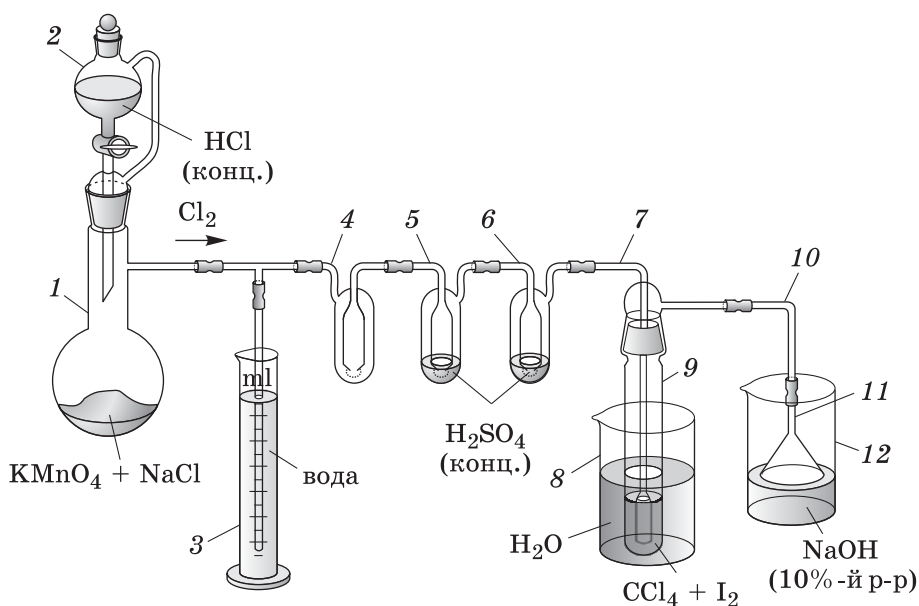


Рис. 20.10. Прибор для получения трихлорида иода:

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — гидрозатвор; 4 — предохранительная (обратная) промывалка; 5, 6 — промывалки с концентрированной серной кислотой; 7 — стеклянная трубка; 8 — стакан с водой; 9 — реактор; 10 — изогнутая стеклянная трубка; 11 — воронка; 12 — стакан с раствором щелочи

В реактор 9 поместите 1,5 г иода и налейте 15 мл осушенного тетрахлорида углерода. Перемешайте содержимое реактора 9 для наиболее полного растворения иода в тетрахлориде углерода. Трубка 7 должна быть погружена в раствор и не доходить до дна реактора примерно на 5–10 мм.

Налейте в стакан 8 воду, подогретую до 40–50 °С. Установите равномерный ток хлора 1–2 пузырька в 1 с через промывалки 5 и 6.

❗ При проведении синтеза следите за скоростью потока хлора через прибор. Прекращение тока хлора и сброс избыточного давления через гидрозатвор 3 может означать, что выход газоподводящей трубки 7 забился продуктами реакции. В этом случае рекомендуется прекратить подачу хлора, прочистить газоподводящую трубку 7 и продолжить эксперимент.

После расходования всего иода уменьшите температуру в реакционной смеси до комнатной (или даже немного ниже). Для этого добавьте в стакан 8 несколько кусочков льда. Продолжайте

пропускать хлор до приобретения раствором в реакторе 9 оранжевой окраски. Затем охладите реактор 9 в бане со льдом и водой и пропускайте хлор до прекращения его поглощения.

Осадок трихлорида иода вместе с растворителем перенесите на воронку со стеклянным фильтрующим дном. Следите, чтобы трихлорид иода все время находился под слоем жидкости. Воронку плотно закройте сверху пластиной из вакуумной резины. Отфильтруйте осадок при пониженном давлении. Вещество перенесите в пробирку, закройте пробкой и взвесьте.

Небольшую часть полученного вещества растворите в воде, другую часть — в 10%-м растворе гидроксида натрия. Проведите идентификацию образующихся в этих растворах веществ.

20.7.2. Хлорат калия (получение методом электролиза)

! Перед началом работы убедитесь в надежности заземления источника тока. Не прикасайтесь руками к электродам включенного в сеть прибора!

Соберите на лабораторном столе прибор, изображенный на рисунке 20.11.

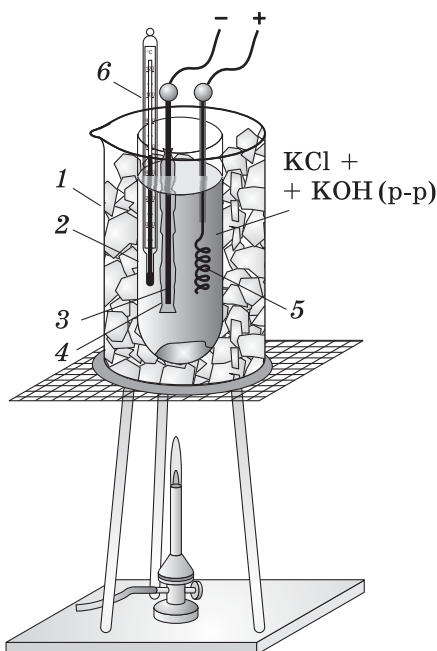


Рис. 20.11. Электролизер для получения хлората калия:

1 — стакан; 2 — корпус электролитической ячейки; 3 — графитовый электрод; 4 — стеклоткань; 5 — платиновый электрод; 6 — термометр

Приготовьте 100 мл 25%-го раствора хлорида калия. Для создания щелочной среды добавьте по каплям 2%-й раствор гидроксида калия до pH 10 (по универсальному индикатору). Приготовленный раствор налейте в электролитическую ячейку 2. Графитовый электрод подсоедините к отрицательному полюсу, а платиновый — к положительному.

❗ Ошибка в определении полярности при подключении ведет к необратимому разрушению графитового электрода и загрязнению раствора!

В стакан 1 налейте воду, нагретую до 70 °С.

Включите прибор в сеть. Установите силу тока, протекающего через раствор, равной 5 А. Температуру раствора в ячейке поддерживайте в интервале 60–80 °С. Если температура превысит 80 °С, выключите горелку и добавьте кусочки льда в пространство между ячейкой и корпусом электролизера. Избыток воды удаляйте с помощью резиновой груши.

Электролиз ведите не менее 1 ч, затем отключите прибор от сети и извлеките электроды из раствора.

Содержимое электролитической ячейки перенесите в стакан и подогрейте до растворения кристаллов хлората калия. Горячий раствор профильтруйте на воронке для горячего фильтрования и оставьте медленно охлаждаться до комнатной температуры. Бумажный фильтр извлеките из воронки, тщательно промойте водой для удаления остатка раствора хлората калия и выбросьте.

Выпавшие кристаллы отделите при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном и промойте на фильтре охлажденной водой порциями по 5 мл. Полученное вещество высушите на фильтровальной бумаге.

Кристаллы хлората калия рассмотрите под микроскопом и зарисуйте форму. Если полученный хлорат калия содержит примеси хлорида калия, то проведите повторную перекристаллизацию с использованием минимального количества воды (кубические кристаллы хлорида калия очень хорошо видны под микроскопом).

Проведите идентификацию полученного вещества.

Чистое вещество перенесите в пробирку и взвесьте.

20.7.3. Белильная известь

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 20.12.

Поместите в колбу 6 4 г гидроксида кальция и прилейте 20 мл тетрахлорида углерода. Выход трубки 5 должен находиться над поверхностью жидкости.

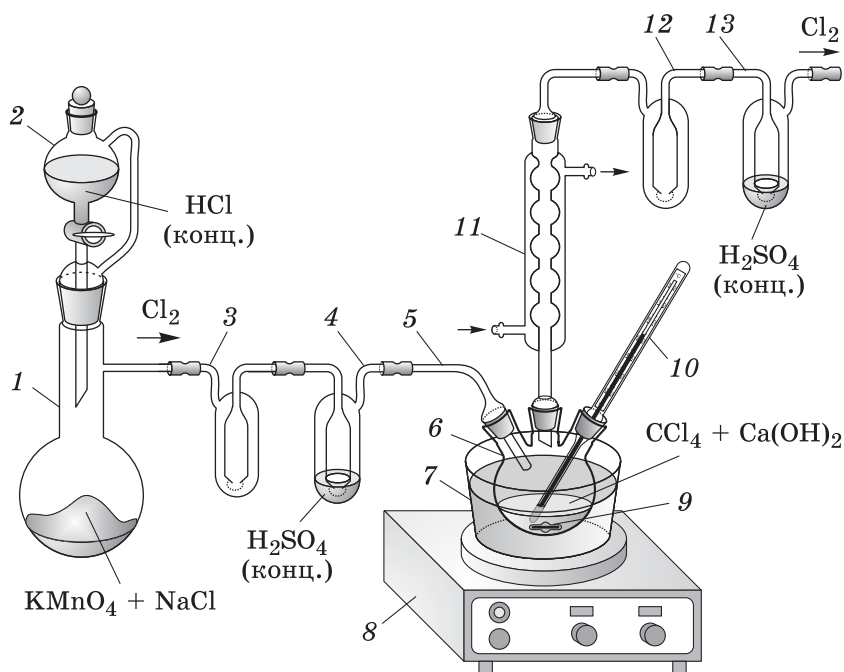


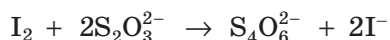
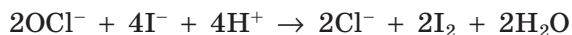
Рис. 20.12. Прибор для получения белильной извести:

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3, 12 — предохранительные (обратные) промывалки; 4, 13 — промывалки с концентрированной серной кислотой; 5 — стеклянная трубка; 6 — колба трехгорлая; 7 — баня водяная; 8 — магнитная мешалка; 9 — перемешивающий стержень; 10 — термометр; 11 — шариковый холодильник

Подайте воду в холодильник 11. Включите магнитную мешалку. Установите ток хлора 1–2 пузырька в 1 с через промывалку 13. Хлор пропускайте до прекращения поглощения. Температура смеси в колбе в течение всего опыта должна поддерживаться на уровне 20–30 °С. Для снижения температуры реакционной смеси рекомендуется периодически добавлять в баню с водой 9 небольшие кусочки льда.

Полученное вещество отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, затем поместите в пробирку и взвесьте.

Определите количество гипохлорита кальция в полученном препарате методом иодометрического титрования, в основе которого лежат химические реакции:



Для проведения анализа взвесьте в конической колбе для титрования $\sim 0,1$ г тщательно растертой белильной извести с точностью $\pm 0,02$ г, прилейте 10 мл воды и перемешайте. Затем добавьте 10 мл 10%-го раствора иодида калия и 5 мл 1 М соляной кислоты.

Весь выделившийся иод сразу оттитруйте 0,05 М раствором тиосульфата натрия. Тиосульфат натрия прибавляйте до тех пор, пока раствор не приобретет бледно-желтую окраску. Затем добавьте несколько капель свежеприготовленного раствора водорастворимого крахмала. К образовавшемуся темно-синему раствору добавляйте по каплям еще тиосульфат натрия до полного обесцвечивания раствора. Титрование проведите не менее трех раз до получения сходящегося результата. Результаты занесите в таблицу 20.1.

Таблица 20.1. Определение содержания гипохлорита кальция в белильной извести методом иодометрического титрования

Номер опыта	m , г	$c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$, моль/л	$V(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$, мл	$m(\text{Ca}(\text{OCl})_2)$, г	$\varphi(\text{Ca}(\text{OCl})_2)$, масс. %
1					
2					
3					
Среднее содержание $\text{Ca}(\text{OCl})_2$, масс. %					
Теоретическое содержание $\text{Ca}(\text{OCl})_2$, масс. %					
Выход от теории, %					

Из полученных данных рассчитайте процентное содержание гипохлорита кальция в полученном препарате (в масс. %) и сравните с теоретическим значением.

ЧАСТЬ V

ХИМИЯ *d*-ЭЛЕМЕНТОВ

21. ТИТАН

21.1. Свойства титана

Действие кислот на титан. Налейте в две пробирки с небольшими количествами порошка (или стружки) титана по 2–3 мл 20%-х растворов серной и соляной кислот соответственно. Нагрейте пробирки с растворами кислот.

Депассивация титана в присутствии фторид-ионов. На порошок (или стружку) титана в пробирке подействуйте разбавленной уксусной кислотой. Затем добавьте в пробирку немного фторида аммония. Объясните наблюдаемые явления.

- Какое положение занимает титан в ряду стандартных электродных потенциалов?
- Одинаково ли взаимодействует титан с концентрированными соляной и плавиковой кислотами?

21.2. Соединения титана(+4)

α - и β -Титановые кислоты и оксид титана(+4)

1. К 10 мл раствора гексахлоротитановой кислоты, охлаждаемого в бане со льдом, прилейте небольшими порциями 10%-й раствор аммиака при постоянном перемешивании до полного осаждения α -титановой кислоты. Дайте осадку отстояться и декантируйте раствор. Половину полученной α -титановой кислоты вместе с оставшимся раствором поместите в четыре пробирки.

2. На осадок в первой пробирке подействуйте 10%-м раствором соляной кислоты, во вторую пробирку прилейте избыток 10%-го раствора гидроксида натрия.

В третью и четвертую пробирки добавьте воды, осадки взболтайте и прокипятите для получения β -титановой кислоты. Отделите осадки декантацией. Добавьте в одну пробирку 10%-й раствор соляной кислоты, а в другую — избыток 10%-го раствора гидроксида натрия.

3. Оставшуюся часть α -титановой кислоты промойте водой на воронке с бумажным фильтром и поместите в небольшой тигель. Вещество в тигле прокалите в пламени газовой горелки. Отметьте изменение цвета вещества при нагревании и охлаждении. Поместите прокаленное вещество в две пробирки. Добавьте 10%-й раствор соляной или серной кислоты в одну пробирку, в другую — избыток 10%-го раствора гидроксида натрия, затем нагрейте.

- Как и почему изменилась реакционная способность титановой кислоты после кипячения и прокаливания?

- Какие гидраты называются α - и β -титановыми кислотами, как они получаются и какими обладают свойствами?
- Как из оксида титана(+4) получить титанат калия и сульфат титанила?
- Сопоставьте свойства гидроксидов титана(+4), циркония(+4) и гафния(+4).

Пероксидные соединения титана

К 1–2 мл раствора гексахлоротитановой кислоты в пробирке добавьте немного 3%-го раствора пероксида водорода. Отметьте изменение окраски раствора.

К полученному раствору прибавьте 10%-й раствор гидроксида натрия и снова отметьте изменение окраски.

Напишите уравнения всех реакций и объясните наблюдаемые явления.

- Каков состав пероксидных соединений титана в кислой, нейтральной и щелочной средах?

21.3. Соединения титана(+3)

1. Поместите в большую пробирку 4–5 кусочков цинка, налейте 3–4 мл подкисленного концентрированного раствора сульфата титанила и прилейте 1–2 мл 20%-го раствора серной кислоты. Отметьте изменение окраски раствора.

2. В две пробирки налейте по 1 мл раствора полученного раствора сульфата титана(+3). В одну пробирку добавьте несколько капель раствора перманганата калия, через раствор в другой пробирке пропустите ток воздуха.

3. Оставшийся раствор сульфата титана(+3) налейте в три пробирки и охладите их в ледяной бане. Прилейте в каждую пробирку охлажденный 10%-й раствор гидроксида натрия до выпадения осадка. Отделите осадки декантацией. Одну пробирку оставьте на воздухе до конца занятия, во вторую пробирку прилейте 10%-й раствор соляной кислоты, а на осадок в третьей пробирке подействуйте избытком 10%-го раствора гидроксида натрия.

- Объясните, почему соединения титана(+3) окрашены, а титана(+4) бесцветны?
- Какие свойства проявляют соединения титана(+3) в проделанных опытах?
- Почему соли титана(+3) гидролизуются в меньшей степени, чем соли титана(+4)?

21.4. Синтезы по теме «Титан»

21.4.1. Трисульфатотитанат(+4) калия

Смешайте 0,5 г тонкоизмельченного диоксида титана с пятикратным (по сравнению со стехиометрическим) избытком пиро-сульфата калия. Смесь поместите в фарфоровый тигель и расплавьте при нагревании в пламени газовой горелки (*в вытяжном шкафу!*). Нагревайте осторожно, не допуская сильного улетучивания выделяющегося серного ангидрида.

Быстро вылейте полученный расплав на термостойкую пластину, дождитесь его охлаждения до комнатной температуры.

Одну часть застывшего расплава растворите в разбавленной серной кислоте, другую обработайте водой при нагревании.

Напишите уравнения всех реакций и объясните наблюдаемые явления.

21.4.2. Метатитанат(+4) калия, K_2TiO_3

Приготовьте 2–3 г стехиометрической смеси диоксида титана и гидроксида калия и разотрите ее в фарфоровой ступке (*в вытяжном шкафу, в очках и перчатках!*). Перенесите полученную смесь в алундовый тигель, поместите его в тигельную печь и нагревайте при температуре 850 °С в течение 20–30 мин до получения прозрачного голубоватого расплава. Извлеките тигель из печи с помощью тигельных щипцов и вылейте расплав на термостойкую пластину. Охлажденный плав измельчите в ступке и испытайте его отношение к воде.

- Что гидролизуется сильнее: сульфат титана(+4) или метатитанат(+4) калия?

21.4.3. Цезиевотитановые квасцы

Растворите 0,5 г титана в минимальном количестве горячей концентрированной соляной кислоты, охладите до комнатной температуры и добавьте небольшой избыток насыщенного раствора сульфата цезия. Раствор поставьте в охлаждающую смесь льда с солью. Полученные светло-розовые кристаллы рассмотрите под микроскопом.

Оставьте полученное вещество на предметном стекле до следующего занятия.

21.4.4. Пентафторопероксотитанат(+4) аммония, $(\text{NH}_4)_3[\text{Ti}(\text{O}_2)\text{F}_5]$

Перетрите в ступке 2 г дигидрата сульфата титанила и 2,5 г фторида аммония. Поместите полученную смесь в стакан, добавьте 10 мл дистиллированной воды и 5 мл концентрированной соляной кислоты.

Установите стакан на магнитную мешалку и включите нагрев (~60 °С). Перемешивайте раствор в течение 10–15 мин, а затем профильтруйте его на бумажном фильтре. К фильтрату прилейте 1 мл 30%-го пероксида водорода.

При постоянном перемешивании (*без нагрева!*) добавьте к полученному желтому раствору концентрированный раствор аммиака примерно до pH 6, после чего продолжайте перемешивание еще в течение 20 мин. Затем охладите стакан с раствором в бане со льдом, отфильтруйте выпавший желтый осадок на стеклянном пористом фильтре при пониженном давлении, промойте небольшими количествами воды, спирта и диэтилового эфира (примерно по 3 мл).

Поместите полученное вещество в ложечку для сжигания и нагрейте в пламени горелки (*осторожно, в вытяжном шкафу!*).

Растворите полученное вещество в разбавленной азотной кислоте и испытайте отношение полученного раствора к растворам перманганата калия и иодида калия.

21.5. Практикум повышенной сложности по теме «Титан»

21.5.1. Тетрахлорид титана

Способ 1. Хлорирование металла

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 21.1 (*реакционная трубка и приемник должны быть тщательно высушены!*).

Реакционную трубку 5 установите с небольшим наклоном в сторону приемника 8. Взвесьте 0,5 г стружек титана и в фарфоровой лодочке 6 поместите их в реакционную трубку. Рекомендуется оставить собранный прибор до следующего дня для полного осушения.

Установите постоянный ток хлора и нагрейте вещество в реакционной трубке 5 газовой горелкой (для получения более широкого и тонкого пламени для обогрева реакционной трубки можно использовать горелку с насадкой «ласточкин хвост»). После рас-

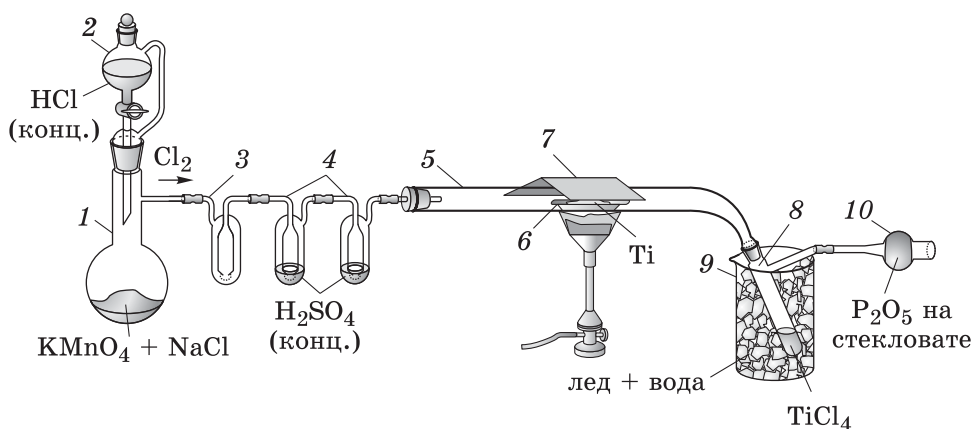


Рис. 21.1. Прибор для получения тетрахлорида титана методом хлорирования металла:

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — предохранительная (обратная) промывалка; 4 — промывалки с концентрированной серной кислотой; 5 — реакционная трубка; 6 — лодочка; 7 — экран; 8 — приемник; 9 — баня с охлаждающей смесью; 10 — хлоркальциевая трубка с оксидом фосфора(+5) на стекловате

ходования всего титана и завершения конденсации тетрахлорида титана в приемнике уберите горелку и охладите реакционную трубку в токе хлора до комнатной температуры.

Способ 2. Восстановительное хлорирование оксида титана

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 21.2.

❗ Перед началом синтеза выдержите растертый уголь в сушильном шкафу при 200 °С в течение 1 ч.

Реакционную трубку 8 установите с небольшим наклоном в сторону приемника 12. Разотрите в фарфоровой ступке смесь 2 г сухого диоксида титана с полутора кратным избытком (по уравнению реакции) высушенного древесного угля и поместите в фарфоровую лодочку 9. Лодочку установите в реакционной трубке 8 по центру трубчатой печи 10.

Вытесните воздух из прибора током аргона из баллона или подушки, затем установите непрерывный ток аргона 3–4 пузырька в 1 с через промывалку 14. Разогрейте печь до 700 °С за 30 мин. После выхода печи на режим перекройте ток аргона. Установите ток хлора 1–2 пузырька в 1 с через промывалку 14. Хлорирование ведите до прекращения конденсации тетрахлорида титана в приемнике 12.

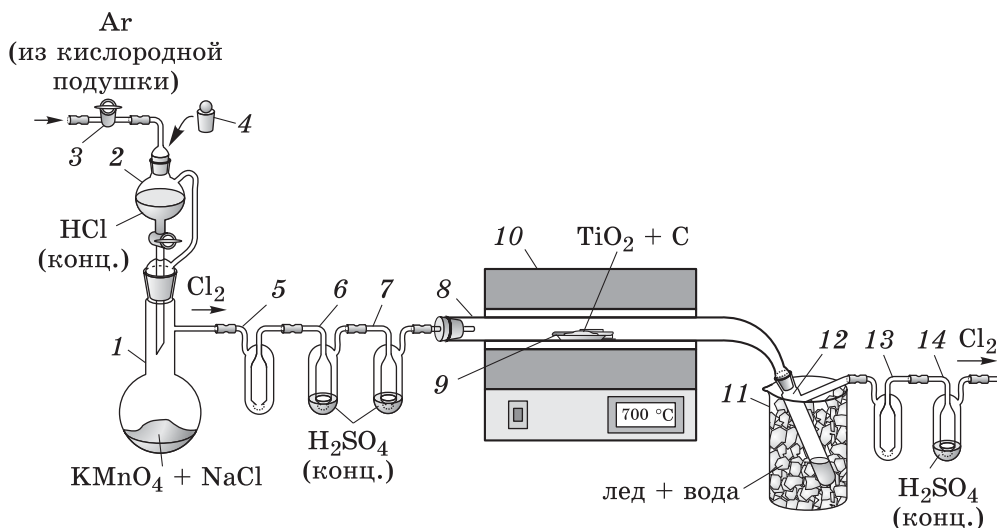


Рис. 21.2. Прибор для получения тетрахлорида титана из оксида методом восстановительного хлорирования:

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — кран; 4 — пробка стеклянная; 5, 13 — предохранительные (обратные) промывалки; 6, 7, 14 — промывалки с концентрированной серной кислотой; 8 — реакционная кварцевая трубка; 9 — лодочка; 10 — печь трубчатая; 11 — баня со льдом и водой; 12 — пробирка Вюрца (приемник)

Для очистки полученный тетрахлорид титана рекомендуется перегнать над медными стружками в приборе для микроперегонки (см. рис. 3.7 на с. 49).

Сохраните очищенный тетрахлорид титана в пробирке, закрытой крышечкой с хлоркальциевой трубкой, заполненной оксидом фосфора(+5) на стекловате (см. рис. 17.6 на с. 201).

21.5.2. Гексахлоротитанат(+4) аммония

К 0,5 мл тетрахлорида титана, полученного по изложенной в разделе 21.5.1 методике (любым способом), осторожно прилейте 5 мл раствора соляной кислоты ($V(\text{HCl}_{\text{конц.}}) : V(\text{H}_2\text{O}) = 1 : 1$) (в вытяжном шкафу!). Раствор охладите до 0 °С в бане со льдом и водой и добавьте к нему ~0,5 г растертого в фарфоровой ступке хлорида аммония.

Соберите прибор для получения хлороводорода (см. рис. 20.3 на с. 232), заменив промывалку с концентрированной серной кислотой 3 пустой предохранительной (обратной) промывалкой.

Изогнутую под прямым углом стеклянную трубку опустите в охлаждаемый раствор. По каплям добавляя серную кислоту в колбу Вюрца 1, добейтесь равномерного тока хлороводорода. Пропускайте хлороводород через раствор в течение 20 мин.

Отфильтруйте выпавшие кристаллы на стеклянном пористом фильтре при пониженном давлении, высушите на фильтровальной бумаге, поместите в пробирку и взвесьте.

21.5.3. Дихлорид бисацетилацетоната титана(+4)

Получите по методике, изложенной в разделе 21.5.1 (любым способом), 3–5 мл тетрахлорида титана.

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 21.3, *а*. В колбу 2 налейте 80 мл безводного бензола или толуола, затем добавьте тетрахлорид титана и рассчитанное по уравнению реакции количество свежеперегнанного ацетилацетона (плотность ацетилацетона 0,976 г/мл). Пустите воду в холо-

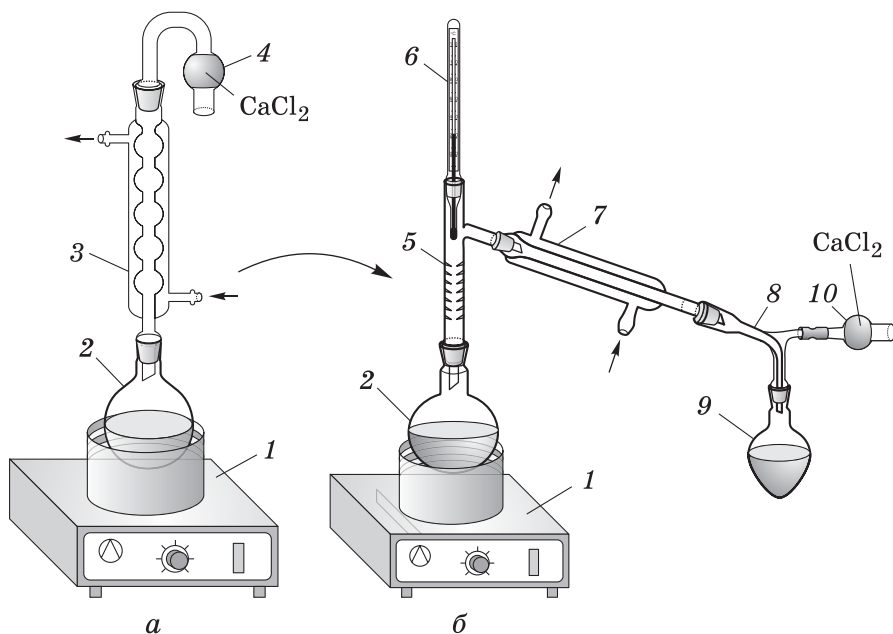


Рис. 21.3. Получение дихлорида бисацетилацетоната титана(+4):

а — прибор для синтеза; *б* — прибор отгонки растворителя.

1 — колбонагреватель; 2 — колба круглодонная; 3 — холодильник шариковый; 4, 10 — хлоркальциевые трубки с безводным хлористым кальцием (или оксидом фосфора(+5) на стекловате); 5 — дефлегматор; 6 — термометр; 7 — холодильник; 8 — аллонж; 9 — приемник

дильник 3. Нагрейте содержимое колбы до кипения и кипятите в течение 1 ч.

Охладите колбу 2 до комнатной температуры, а затем подсоедините ее к прибору для отгонки растворителя (рис. 21.3, б).

Отгоните около $\frac{2}{3}$ бензола. Охладите содержимое колбы 2 до комнатной температуры и отфильтруйте выпавшие кристаллы при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, закрытой вакуумной резиной. Полученные кристаллы быстро перенесите в бюкс и взвесьте.

22. ВАНАДИЙ

22.1. Свойства ванадия

- ! Металлический ванадий при хранении покрывается темно-зеленым налетом. Для очистки перед началом опытов промойте ванадий сначала 10%-й соляной кислотой, а затем водой.

Испытайте действие на очищенный ванадий разбавленных и концентрированных кислот: соляной, серной и азотной (при комнатной температуре и при нагревании).

22.2. Соединения ванадия(+5)

Оксид ванадия(+5)

Поместите в фарфоровый тигель 1 г метаванадата аммония и нагрейте на газовой горелке при непрерывном перемешивании стеклянной палочкой до приобретения порошком темно-красного цвета.

1. Поместите часть полученного оксида ванадия(+5) в пробирку, прилейте немного воды и перемешайте. С помощью универсальной индикаторной бумаги определите pH раствора. Нагрейте раствор, отметьте изменение окраски.

2. Испытайте действие на оксид ванадия(+5) 10%-й серной кислоты, 10%-й и концентрированной соляной кислоты, 10%-го раствора гидроксида натрия при комнатной температуре и при нагревании.

- Почему для получения оксида ванадия(+5) прокаливание ведется при интенсивном перемешивании?
- Какие свойства проявляет оксид ванадия(+5) в проделанных опытах?

Поливанадаты и ванадиевая кислота

К 3–4 мл раствора метаванадата натрия в пробирке прибавьте по каплям при перемешивании 10%-й раствор серной кислоты. Проследите, как меняется окраска раствора при постепенном понижении pH.

- Каким последовательным химическим превращениям соответствует изменение цвета раствора? При каких значениях pH они происходят?

Для объяснения наблюдаемых явлений воспользуйтесь диаграммой зависимости состава поливанадатов от pH среды и концентрации раствора.

Соли ванадиевой кислоты

1. Налейте в пробирку 1–2 мл раствора метаванадата натрия и определите рН с помощью универсальной индикаторной бумаги. Затем прибавьте несколько капель раствора нитрата серебра и определите рН раствора после выпадения осадка.

2. В пробирку налейте 1–2 мл концентрированного раствора метаванадата натрия и добавьте несколько капель насыщенного раствора хлорида аммония. Определите рН раствора до и после выпадения осадка.

Пероксидные соединения ванадия

1. К 2–3 мл раствора метаванадата натрия прилейте по каплям 10%-ю серную кислоту до кислой реакции, а затем добавьте несколько капель 3%-го раствора пероксида водорода. Отметьте цвет образовавшегося пероксидного соединения.

Добавьте к полученному раствору 10%-й раствор гидроксида натрия. Отметьте изменения окраски раствора.

2. К 2–3 мл раствора метаванадата натрия добавьте 2–3 мл 40%-го раствора гидроксида натрия, а затем добавьте несколько капель 30%-го раствора пероксида водорода. Отметьте цвет образовавшегося пероксидного соединения.

- Какой цвет имеют пероксидные соединения ванадия в кислом, нейтральном и щелочном растворах?

Тиосоли и сульфид ванадия

Приготовьте разбавленный (~0,1%-й) водный раствор метаванадата аммония. Поместите 1 мл этого раствора в пробирку и добавьте 3 мл концентрированного раствора аммиака. Пропускайте ток сероводорода через полученный раствор в течение 15–20 мин до приобретения им красно-фиолетовой окраски.

К раствору тиованадата аммония добавьте 2–3 мл концентрированной соляной кислоты. Отметьте цвет выпавшего осадка.

22.3. Соединения ванадия в низших степенях окисления

Возьмите для проведения опытов коническую колбу на 150 мл и подготовьте для нее резиновую пробку с клапаном Бунзена (рис. 22.1). Клапан Бунзена представляет собой отрезок резиновой трубки с продольной прорезью, закрытый короткой стеклянной палочкой.

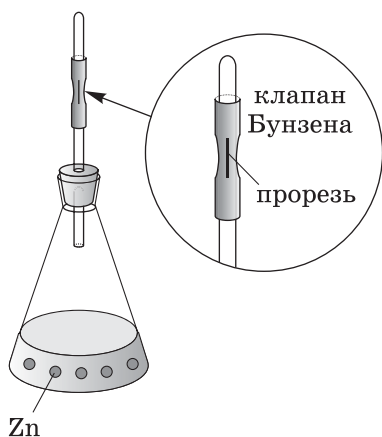


Рис. 22.1. Получение соединений ванадия в низших степенях окисления в колбе с клапаном Бунзена

Поместите на дно колбы 20–30 гранул цинка, затем налейте 30 мл насыщенного раствора метаванадата натрия и добавьте равный объем 20%-й соляной кислоты. Об изменении степени окисления ванадия при восстановлении цинком можно судить по характерной окраске растворов соединений ванадия.

1. Пронаблюдайте изменения окраски раствора (пробкой с клапаном Бунзена колбу пока не закрывайте). После приобретения раствором окраски, характерной для соединений ванадия(+4), налейте в четыре пробирки по 2–3 мл полученного раствора. Добавьте в первую пробирку раствор сульфита натрия, во вторую — по каплям раствор перманганата калия. В оставшиеся пробирки прибавьте по 2–3 мл охлажденного 1 М раствора гидроксида натрия. Подействуйте на выпавшие осадки избытком 1 М серной кислоты и избытком 1 М гидроксида натрия соответственно.

2. Закройте колбу пробкой с клапаном Бунзена. После того как раствор приобретет окраску, характерную для соединений ванадия(+3), налейте по 2–3 мл полученного раствора в три пробирки. В первую пробирку добавьте по каплям раствор перманганата калия.

Вторую и третью пробирки охладите и добавьте в них охлажденный раствор 1 М гидроксида натрия. Подействуйте на выпавшие осадки избытком 1 М серной кислоты и избытком 1 М гидроксида натрия соответственно.

3. После получения в колбе с клапаном Бунзена раствора с окраской, характерной для соединений ванадия(+2), налейте 2–3 мл этого раствора в пробирку. Сразу же прилейте к нему охлажденный 1 М раствор гидроксида натрия. Испытайте отношение выпавшего осадка к 1 М растворам серной кислоты и гидроксида натрия.

4. Оставшийся в колбе раствор соли ванадия(+2) перелейте в стакан и оставьте открытым на воздухе. Наблюдайте изменение окраски раствора со временем.

Напишите уравнения всех реакций и объясните наблюдаемые явления.

- На основании проделанных опытов сделайте выводы об изменении кислотно-основных и окислительно-восстановительных свойств ванадия в зависимости от степени окисления ванадия и pH среды.

22.4. Синтезы по теме «Ванадий»

22.4.1. Алюмотермическое получение ванадия

! Опыт проводите в вытяжном шкафу под наблюдением преподавателя. Наденьте очки или маску!

Для получения ванадия воспользуйтесь методикой, изложенной в разделе 12.4.1. Приготовьте реакционную смесь, состоящую из 5 г оксида ванадия(+5), высушенного в течение 30 мин при 100 °С, и 3 г свежеприготовленного порошка металлического алюминия.

После окончания реакции и охлаждения реакционной массы до комнатной температуры отделите королёк металла от шлака.

22.4.2. Гексагидрат хлорида ванадия(+3)

Поместите в стакан 2 г ванадия (от оксидной пленки ванадий можно не очищать), 5 г порошка оксида ванадия(+5) и добавьте 50 мл концентрированной соляной кислоты (*в вытяжном шкафу!*). Накройте стакан часовым стеклом и кипятите смесь в течение 1 ч до образования темно-зеленого раствора.

Снимите часовое стекло, отделите раствор от остатков ванадия и охладите при перемешивании до комнатной температуры.

Для увеличения выхода продукта (*при необходимости*) соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 22.2.

Стакан с раствором поместите в баню со льдом и водой 7, воронка 5 должна слегка касаться поверхности раствора.

Установите ровный ток хлороводорода. Газ должен проходить через промывалку 3 и полностью поглощаться раствором. Хло-

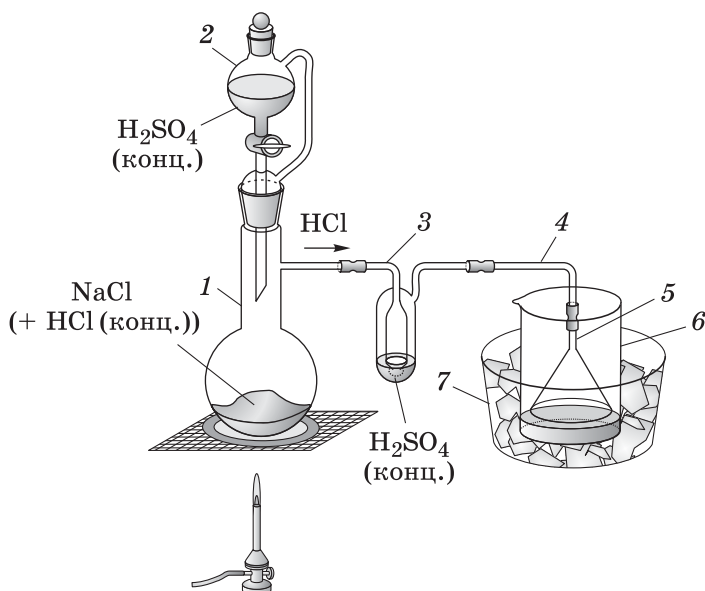


Рис. 22.2. Прибор для получения гексагидрата хлорида ванадия(+3): 1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — промывалка — счетчик пузырьков с концентрированной серной кислотой; 4 — изогнутая стеклянная трубка; 5 — воронка химическая; 6 — стакан; 7 — баня с охлаждающей смесью

водород пропускайте до насыщения раствора и прекращения выпадения темно-зеленых кристаллов. Выпавшие кристаллы отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, затем высушите на фильтровальной бумаге. Полученное вещество перенесите в пробирку, взвесьте.

Растворите несколько кристаллов полученного вещества в воде, несколько кристаллов — в концентрированной соляной кислоте. Сравните окраску полученных растворов.

22.4.3. Триоксалатованадат(+3) калия

По методике, изложенной в разделе 22.4.2, получите гексагидрат хлорида ванадия(+3). Растворите 3 г полученного вещества в минимальном количестве воды. Приготовьте раствор 6 г моногидрата оксалата калия в 25 мл воды и прилейте его к раствору хлорида ванадия(+3). Осторожно подогрейте стакан до полного растворения первоначально выпавшего светло-зеленого кристаллического осадка, затем накройте часовым стеклом и оставьте медленно охлаждаться на воздухе.

Выделившиеся темно-зеленые кристаллы отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, промойте небольшими количествами ледяной воды, спирта и диэтилового эфира.

Добавьте к фильтрату 5 мл этанола для осаждения дополнительного количества триоксалатованадата(+3) калия. Отделите получившийся мелкокристаллический зеленый порошок на стеклянном пористом фильтре при пониженном давлении.

22.4.4. Ванадиевые бронзы

Перетрите в ступке 1 г хлорида натрия и 4,5 г оксида ванадия(+5). Поместите полученную смесь во взвешенном фарфоровом тигле в вертикальную печь и прокалите при 570 °С в течение 2 ч.

Проверьте, закончилось ли выделение хлора при прокаливании, затем охладите печь, извлеките тигель и взвесьте.

22.4.5. Бисацетилацетонат оксованадия(+4)

Растворите 1,3 г метаванадата аммония в 30 мл воды и осторожно, небольшими порциями, добавьте к полученному раствору 20%-й раствор серной кислоты до полного осаждения гидратированного оксида ванадия(+5). Отфильтруйте осадок через бумажный фильтр, промойте его на фильтре небольшим количеством воды и перенесите в стакан объемом 250 мл.

Растворите в другом стакане 1,2 г безводного сульфита натрия в 5 мл воды. Добавьте полученный раствор к свежесосажденному оксиду ванадия(+5), затем внесите в стакан 12 мл 25%-го раствора серной кислоты (*в вытяжном шкафу!*).

Установите стакан на магнитную мешалку (*в вытяжном шкафу!*), укрепите над ним капельную воронку. При постоянном перемешивании подогрейте смесь до слабого кипения. После приобретения раствором темно-синей окраски добавьте по каплям из воронки 3,5 мл ацетилацетона.

Растворите 4 г безводного карбоната натрия в 25 мл воды. Добавляйте полученный раствор в смесь по каплям из воронки до прекращения выделения углекислого газа.

Охладите стакан со смесью. Выделившиеся бирюзовые кристаллы отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном. Высушите полученное вещество на фильтровальной бумаге, затем поместите в пробирку и взвесьте.

22.5. Практикум повышенной сложности по теме «Ванадий»

22.5.1. Тетрахлорид ванадия

Возьмите ~1 г очищенного и высушенного порошка ванадия. Получение тетрахлорида ванадия осуществите по методике, рассмотренной в разделе 21.5.1 (*способ 1*), см. также рис. 21.1 на с. 254.

Полученный тетрахлорид ванадия перегоните в приборе для микроперегонки (см. рис. 3.7 на с. 49) и отметьте температуру кипения. Вещество взвесьте в пробирке, закрытой пробкой.

Сохраните тетрахлорид ванадия в пробирке, закрытой крышкой с хлоркальциевой трубкой, заполненной оксидом фосфора(+5) на стекловате (см. рис. 17.6 на с. 201).

22.5.2. Оксид ванадия(+3)

❗ Водород горюч, в смеси с кислородом или воздухом взрывоопасен! Все опыты с водородом разрешается проводить только в маске и под наблюдением преподавателя.

Соберите прибор, изображенный на рисунке 22.3. Кварцевую реакционную трубку 6 установите с небольшим наклоном в сторону приемника 9. Шлиф пробирки Вюрца 9 смажьте вакуумной смазкой. Проверьте герметичность прибора.

Вытесните воздух из прибора током аргона из кислородной подушки (кран 2 должен быть закрыт!). Закройте кран 4 и откройте кран 2. Включите генератор водорода. Вытесните аргон током водорода и проверьте водород на чистоту на выходе из прибора (воспользуйтесь двумя маленькими пробирками 14).

❗ Проверяйте водород на чистоту под наблюдением преподавателя!

Сильно нагрейте в токе водорода реакционную трубку с метаванадатом аммония газовой горелкой с насадкой «ласточкин хвост». Водяной конденсат отгоните из реакционной трубки в приемник 9 слабым пламенем горелки.

После завершения реакции охладите реакционную трубку с веществом до комнатной температуры в токе водорода, выключите генератор водорода и закройте кран 2. Вытесните водород из прибора током аргона из кислородной подушки. Полученный оксид ванадия(+3) поместите в пробирку, взвесьте.

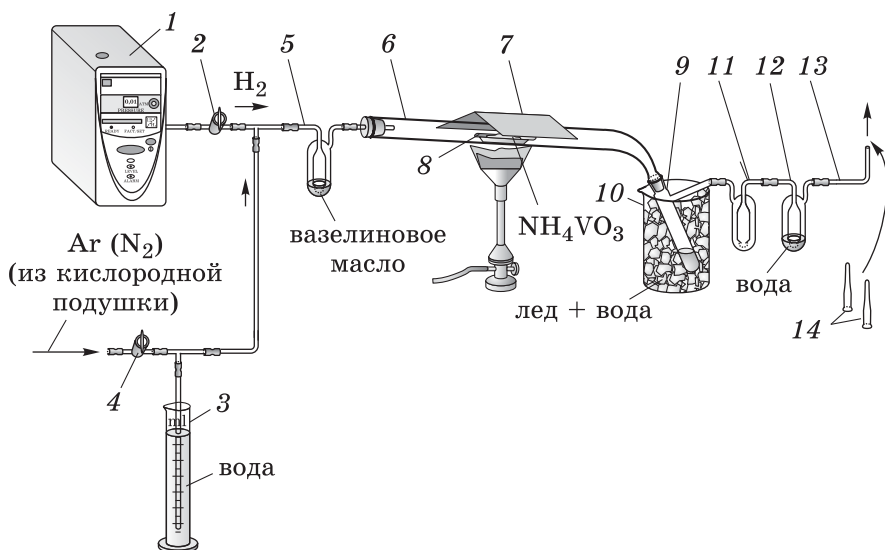


Рис. 22.3. Схема прибора для получения оксида ванадия(+3):

1 — генератор водорода; 2, 4 — краны, 3 — гидрозатвор; 5 — промывалка—счетчик пузырьков с вазелиновым маслом; 6 — реакционная трубка; 7 — термостойкий экран; 8 — лодочка; 9 — приемник для воды; 10 — баня со льдом и водой; 11 — предохранительная (обратная) промывалка; 12 — промывалка—счетчик пузырьков с водой; 13 — Г-образная стеклянная трубка; 14 — пробирки для проверки водорода на чистоту

22.5.3. Гексафторованадат(+3) аммония

Промойте внутреннюю поверхность медной чашки 24%-м раствором соляной кислоты, затем водой и осушите фильтровальной бумагой. Поместите в чашку 1–2 г гидрофторида аммония и нагрейте в пламени газовой горелки до расплавления гидрофторида аммония.

! Все опыты с гидрофторидом аммония проводите только в вытяжном шкафу, в защитных очках и перчатках!

Поворачивая чашку, равномерно распределите расплав по внутренней поверхности (рис. 22.4).

Смешайте 1 г оксида ванадия(+3) с 2,5-кратным количеством гидрофторида аммония (относительно рассчитанного по уравнению реакции). Смесь поместите в подготовленную медную чашку и поставьте на песчаную баню (рис. 22.5). Для контроля температуры песчаной бани используйте цифровой термометр.

! Для контроля температуры песка не допускается использовать ртутные термометры!

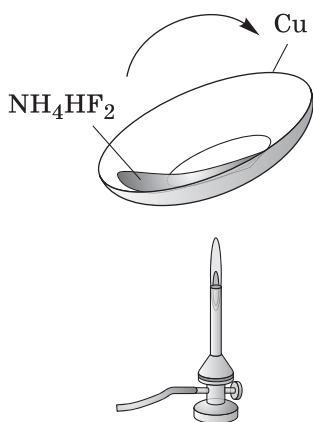


Рис. 22.4. Обработка внутренней поверхности медной чашки расплавом гидрофторида аммония

Нагрейте вещество в чашке, перемешивая его никелевым шпателем.

! Нагревание проводите в вытяжном шкафу — выделяющиеся пары чрезвычайно ядовиты и агрессивны! Рукава халата заправьте под перчатку!

Так как гидрофторид аммония разлагается и улетучивается при нагревании, при необходимости добавляйте новые порции для компенсации потерь. После образования салатово-зеленого гексафторованадата аммония удалите избыточный гидрофторид аммония нагреванием. В чашке должен остаться сухой сыпучий порошок.

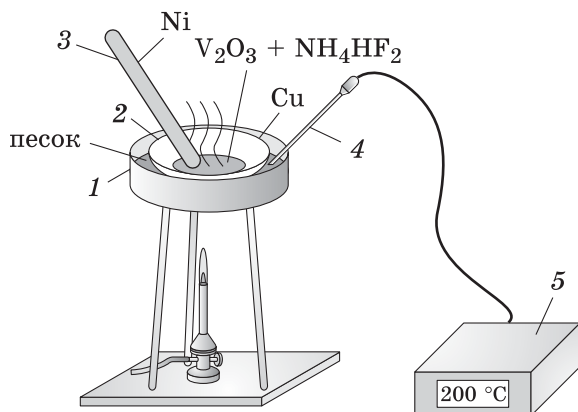


Рис. 22.5. Получение гексафторованадата(+3) аммония:

1 — песчаная баня; 2 — медная чашка; 3 — никелевый шпатель; 4 — термодатчик; 5 — термометр цифровой

! При температуре выше 200 °С возможно окисление медной чашки!

Полученное вещество поместите в пробирку и взвесьте.

22.5.4. Оксотрихлорид ванадия

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 22.6, а. Хлоркальциевую трубку 3 заполните оксидом фосфора(+5) на стекловате.

Прокалите 5 г ванадата аммония в фарфоровом тигле в пламени газовой горелки до образования оксида ванадия(+5). Полученное вещество поместите в колбу 1 и добавьте 10 мл хлорида тионила.

Включите воду для охлаждения холодильника 2. Нагрейте содержимое колбы и кипятите в течение 1,5–2 ч до приобретения

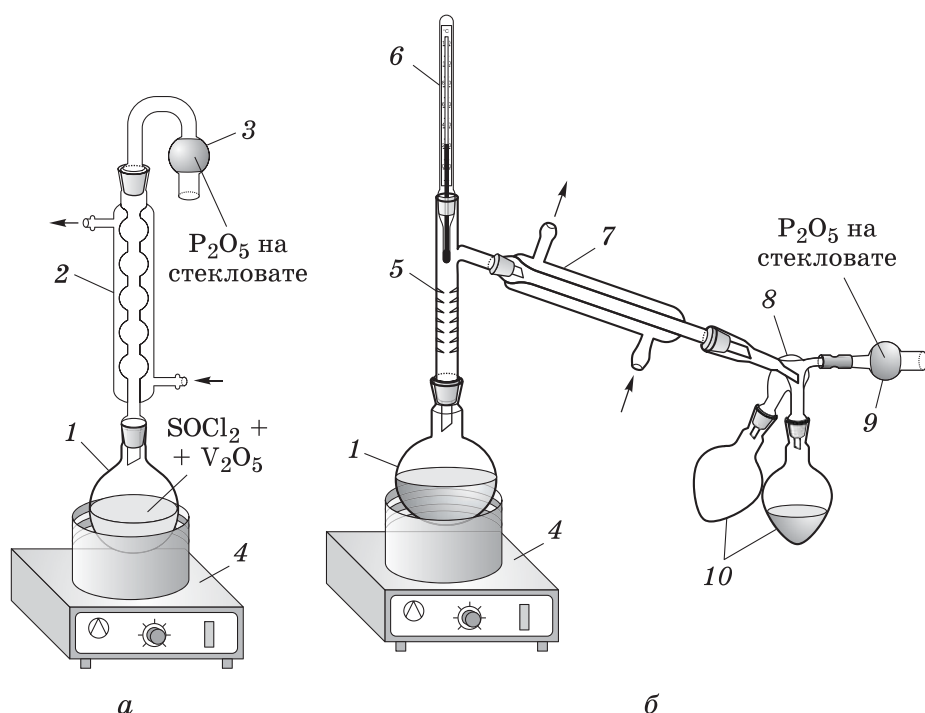


Рис. 22.6. Приборы для синтеза и перегонки оксотрихлорида ванадия: а — синтез; б — перегонка.

1 — колба; 2 — шариковый холодильник; 3, 9 — хлоркальциевые трубки с оксидом фосфора(+5) на стекловате; 4 — колбонагреватель; 5 — дефлегматор; 6 — термометр; 7 — холодильник; 8 — аллонж «паук»; 10 — приемники

раствором характерной желтой окраски оксотрихлорида ванадия. После охлаждения до комнатной температуры подсоедините колбу 1 к прибору для фракционной перегонки (рис. 22.6, б). Отгоните вначале избыточный хлорид тионила, а затем фракцию оксотрихлорида ванадия. Отсоедините приемник с оксотрихлоридом ванадия от прибора, закройте пробкой и взвесьте.

22.5.5. Нитрат диоксованадия

Соберите прибор, изображенный на рисунке 17.5 (см. с. 200). В реактор 4 поместите ~0,5 г очищенного ванадия и добавьте 7 мл свежеперегнанного ацетонитрила. Далее выполняйте синтез по указанной в разделе 17.9.6 методике.

Часть вещества растворите в воде, определите pH раствора.

23. ХРОМ

23.1. Соединения хрома(+2)

Способ 1

Поместите в большую пробирку несколько кусочков металлического хрома, прилейте 2–3 мл 20%-го раствора соляной кислоты и закройте пробкой с клапаном Бунзена (рис. 23.1).

Способ 2

Заполните пробирку на $\frac{1}{5}$ гранулированным цинком, налейте 2–3 мл раствора хлорида хрома(+3) и добавьте 2–3 мл 20%-го раствора соляной кислоты. Закройте пробирку пробкой с клапаном Бунзена.

Отметьте изменение окраски раствора.

Небольшое количество полученного любым из приведенных выше способов раствора хлорида хрома(+2) прилейте в пробирки с 2–3 мл насыщенного раствора ацетата натрия и охлажденного 10%-го раствора гидроксида натрия. Оставшийся раствор хлорида хрома(+2) оставьте на воздухе до конца занятия. Отметьте изменение окраски раствора.

- Какие свойства проявляет хлорид хрома(+2) в проделанных опытах?

23.2. Соединения хрома(+3)

Получение оксида хрома(+3)

Способ 1

Смешайте 2,5 г тонкоизмельченного дихромата калия с 0,5 г серы, смесь поместите в фарфоровый тигель с крышкой и силь-

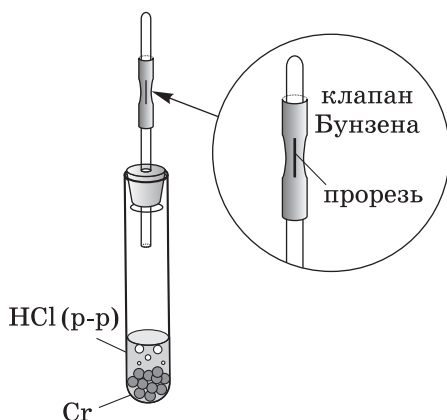


Рис. 23.1. Получение хлорида хрома(+2) в пробирке с клапаном Бунзена

но нагрейте пламенем горелки (*в вытяжном шкафу!*). После завершения реакции уберите горелку. Остывшую массу разотрите в ступке с водой, оксид хрома(+3) отделите от раствора фильтрованием, промойте и высушите в сушильном шкафу. Испытайте действие кислот и щелочей на полученное вещество.

Способ 2

В фарфоровый тигель насыпьте горкой 1–2 г дихромата аммония, тигель поставьте на большой лист бумаги в вытяжном шкафу. Сильно разогрейте стеклянную палочку в пламени горелки и коснитесь ею вершины горки дихромата аммония. Соберите образовавшийся оксид хрома(+3).

- Как оксид хрома(+3) относится к воде, растворам кислот и щелочей?

Гидроксид хрома(+3) и хромит натрия

Осадите гидроксид хрома(+3), действуя на водный раствор соли хрома(+3) 1 М раствором аммиака.

Испытайте действие на осадок 1 М раствора соляной кислоты, концентрированной соляной кислоты, 1 М раствора гидроксида натрия. Прилейте по каплям 20%-й раствор гидроксида натрия к осадку гидроксида хрома(+3) до полного растворения последнего. Отметьте окраску полученного раствора, а затем прокипятите его.

- К какому типу гидроксидов относится гидроксид хрома(+3)?
- Как еще можно получить гидроксид хрома(+3)?

Соли хрома(+3)

1. Несколько кристаллов хромокалиевых квасцов растворите в воде и отметьте цвет раствора. Нагрейте раствор до кипения. Отметьте изменение окраски при нагревании раствора.

2. Приготовьте две пробирки с раствором сульфата хрома(+3). К раствору в одной пробирке прилейте раствор сульфида натрия. Отметьте окраску выпавшего осадка.

К раствору в другой пробирке добавьте избыток раствора гидроксида натрия, прилейте бромную воду, смесь подогрейте. Отметьте изменение окраски раствора.

- Как связана окраска комплексного аква-иона хрома(+3) с его составом?
- Как можно получить сульфид хрома(+3)?

23.3. Соединения хрома(+6)

Соли хромовых кислот

1. Небольшое количество дихромата калия растворите в воде. К полученному раствору добавьте по каплям разбавленный раствор гидроксида калия или натрия. Отметьте изменение окраски раствора. К образовавшемуся щелочному раствору добавьте по каплям разбавленную серную кислоту. Наблюдайте изменение окраски раствора.

2. К растворам хромата и дихромата калия в пробирках прилейте раствор соли бария. Подействуйте на выпавшие осадки разбавленной азотной кислотой.

3. К раствору дихромата калия в пробирке прилейте раствор сульфида натрия и подогрейте смесь. Отметьте происходящие изменения.

- Как изменяется состав солей хромовых кислот в зависимости от pH среды?
- Какие свойства проявляет хром(+6) в проделанных опытах?

Оксид хрома(+6)

! Опыты проводите в вытяжном шкафу, под наблюдением преподавателя!

Поместите в стакан 1 г дихромата калия и прилейте 6 мл концентрированной серной кислоты при перемешивании стеклянной палочкой (*наденьте защитные очки!*). Охладите полученный раствор, выпавшие кристаллы отделите от раствора декантацией. Отметьте цвет кристаллов.

В пробирке с водой растворите небольшое количество полученного оксида хрома(+6) и прилейте раствор иодида калия. Добавьте 1–2 капли раствора крахмала.

Несколько кристаллов оксида хрома(+6) поместите в фарфоровую чашку и из пипетки прилейте две-три капли этилового спирта (*осторожно, наденьте защитные очки!*).

Пероксидные соединения хрома

К 2–3 мл 3%-го раствора пероксида водорода в пробирке добавьте немного разбавленного раствора серной кислоты, 1–2 мл этилового эфира и несколько капель раствора дихромата калия. Осторожно перемешайте смесь, отметьте окраску эфирного слоя.

23.4. Синтезы по теме «Хром»

23.4.1. Получение хрома методом алюмотермии

! Опыт проводите в вытяжном шкафу, под наблюдением преподавателя! Наденьте очки или маску!

Для получения хрома воспользуйтесь методикой, изложенной в разделе 12.4.1.

Прокалите в железном тигле на газовой горелке оксид хрома(+3). Расплавьте дихромат калия в фарфоровом тигле в пламени газовой горелки и вылейте на термостойкую пластину, после охлаждения разотрите застывший плав. Взвесьте 2,5 г прокаленного оксида хрома(+3), 2,5 г растертого порошка переплавленного дихромата калия и 1,5 г свежеприготовленного порошка металлического алюминия, все вещества тщательно перемешайте в ступке и поместите реакционную смесь в тигель. В качестве зажигательной смеси используйте 2–3 г смеси свежеприготовленного порошка алюминия и пероксида бария, взятых в массовом соотношении 1 : 3.

После окончания реакции дайте тиглю остыть, извлеките «королек» хрома.

23.4.2. Хлорид гексааквахрома(+3)

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 22.2 (см. с. 262). Приготовьте исходный раствор соли хрома(+3) одним из следующих способов.

Способ 1

Приготовьте раствор 5 г тригидрата нитрата хрома(+3) в 5 мл концентрированной соляной кислоты.

Способ 2

Соберите прибор для кипячения в колбе с обратным холодильником, изображенный на рисунке 10.3, а (см. с. 125). В колбу 1 поместите 5 г гексагидрата хлорида хрома(+3) и прилейте 5 мл воды. Включите воду для охлаждения холодильника. Нагрейте раствор до кипения и кипятите 0,5 ч, затем охладите до комнатной температуры и перелейте в химический стакан.

Способ 3

Растворите 2,5 г хромокалиевых квасцов в 10 мл охлажденной концентрированной соляной кислоты и добавьте 2,5 мл воды. Раствор профильтруйте на воронке с бумажным фильтром.

Стакан 6 с раствором, приготовленным одним из описанных выше способов, поместите в охлаждающую смесь льда и хлорида натрия. Когда температура раствора опустится ниже $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, пропустите ток хлороводорода, следя за тем, чтобы температура не повышалась. Воронка 5 должна слегка касаться поверхности раствора. Насыщение ведите до прекращения поглощения раствором хлороводорода. Для контроля полноты насыщения периодически взвешивайте колбу с раствором.

Выпавший осадок отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном. Промойте осадок на фильтре ацетоном (*вдали от огня!*). Отметьте цвет кристаллов. После испарения ацетона перенесите кристаллы хлорида гексааквахрома(+3) в пробирку и взвесьте.

- Какие изомеры существуют у этого соединения? Какого они цвета?

23.4.3. Моногидрат хлорида пентааквахлорохрома(+3)

Приготовьте раствор 3 г гексагидрата хлорида хрома(+3) в 3 мл воды и оставьте при комнатной температуре на сутки, затем добавьте 1 мл 70%-й серной кислоты. Выделившиеся кристаллы тригидрата сульфата пентааквахлорохрома(+3) отделите от раствора при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном. Высушите полученное вещество на фильтровальной бумаге и взвесьте. Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 23.2.

Приготовьте в стакане концентрированный раствор полученного ранее сульфата пентааквахлорохрома(+3) и охладите в бане со льдом и водой. Налейте 20 мл диэтилового эфира в коническую колбу 6 (*вдали от огня!*) и охладите в бане со льдом и водой 7. Пропустите через эфир ток хлороводорода и постепенно перелейте в колбу 6 весь раствор сульфата пентааквахлорохрома(+3). Продолжайте пропускать хлороводород до прекращения выделения темно-зеленых кристаллов. Кристаллы отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, высушите на фильтровальной бумаге, поместите в пробирку и взвесьте.

23.4.4. Хромокалиевые квасцы

Соберите прибор, изображенный на рисунке 23.3. Приготовьте в химическом стакане раствор 2,5 г дихромата калия в 25 мл

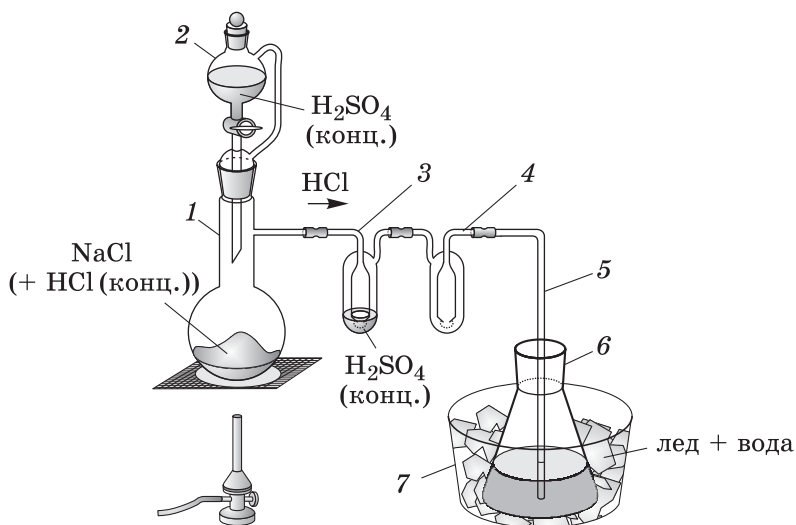


Рис. 23.2. Прибор для получения хлорида пентааквахлорохрома(+3): 1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — промывалка—счетчик пузырьков; 4 — предохранительная промывалка; 5 — изогнутая стеклянная трубка; 6 — колба коническая; 7 — баня со льдом

воды, затем добавьте концентрированную серную кислоту (в полторакратном избытке по сравнению с рассчитанным по уравнению). стакан с раствором охладите вначале до комнатной температуры, а затем поставьте в воду со льдом.

В капельную воронку 4 налейте этиловый спирт (в двукратном избытке) и прибавьте по каплям к раствору в стакане 2 при непрерывном перемешивании. Следите, чтобы температура раствора не поднималась выше 40 °С.

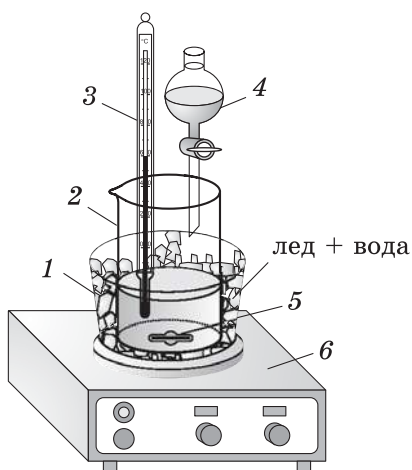


Рис. 23.3. Прибор для получения хромокалиевых квасцов:

1 — баня со льдом и водой; 2 — стакан; 3 — термометр; 4 — капельная воронка; 5 — перемешивающий стержень; 6 — магнитная мешалка

После завершения реакции прикройте стакан с раствором фильтровальной бумагой и оставьте охлаждаться. Выпавшие кристаллы отфильтруйте при пониженном давлении на воронке Бюхнера, высушите на фильтровальной бумаге и взвесьте. Рассмотрите форму полученных кристаллов хромокалиевых квасцов под микроскопом.

23.4.5. Изоморфный рост кристалла алюмокалиевых квасцов на монокристалле хромокалиевых квасцов

Приготовьте 50 мл насыщенного при комнатной температуре раствора хромокалиевых квасцов. Раствор профильтруйте на воронке с бумажным фильтром. Выберите наиболее совершенный кристалл квасцов из тех, что были получены по методике, рассмотренной в разделе 23.4.4. Прикрепите кристалл тонкой нитью или волосом к стеклянной палочке и опустите в раствор (см. рис. 12.2 на с. 141).

Прикройте стакан сверху часовым стеклом. В течение нескольких занятий наблюдайте за ростом кристалла. При необходимости доливайте насыщенный раствор хромокалиевых квасцов. При достижении подходящего размера извлеките кристалл из раствора хромокалиевых квасцов и подвесьте в стакане с насыщенным раствором алюмокалиевых квасцов. Наблюдайте изоморфное наращивание прозрачных алюмокалиевых квасцов на хромокалиевых. Выросший кристалл извлеките из раствора, осушите фильтровальной бумагой и взвесьте. Зарисуйте форму кристалла.

Можно вырастить кристалл хромокалиевых квасцов на монокристалле алюмокалиевых квасцов. Цвет кристалла на бесцветной заправке будет зависеть от толщины слоя хромокалиевых квасцов.

Для защиты от выветривания запаяйте полученные кристаллы в стеклянную ампулу.

- Можно ли хранить кристаллы квасцов на воздухе?
- Что такое выветривание? Напишите уравнение реакции.

23.4.6. Хлорид хрома(+3)

Для получения безводного хлорида хрома(+3) используйте методику 20.6.1 (Хлориды кобальта(+2), никеля(+2), хрома(+3)).

23.4.7. Тригидрат триоксалатохромата(+3) калия

Растворите в 100 мл воды 3 г моногидрата оксалата калия и 7 г щавелевой кислоты. К раствору добавьте при интенсивном перемешивании 2,5 г тонкоизмельченного дихромата калия. Полученный раствор перелейте в фарфоровую чашку и поставьте на водяную баню для упаривания. После выпаривания большей части воды снимите чашку с водяной бани и оставьте охлаждаться.

Оставьте раствор на неделю для медленного роста крупных кристаллов. Выпавшие кристаллы отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, высушите на фильтровальной бумаге и взвесьте. Рассмотрите кристаллы под микроскопом в отраженном и проходящем свете.

- Что такое плеохроизм?

23.4.8. Гексароданохромат(+3) калия

Соберите прибор, изображенный на рисунке 23.4.

Приготовьте в стакане раствор 2 г роданида калия и 1,7 г хромокалиевых квасцов в 20 мл воды. Полученный раствор перелейте в колбу 1 прибора для кипячения с обратным холодильником.

Нагрейте раствор в колбе 1 до кипения и кипятите в течение 2 ч, затем охладите до комнатной температуры. Раствор из колбы 1 перелейте в фарфоровую чашку и выпаривайте на водяной бане до полного удаления воды.

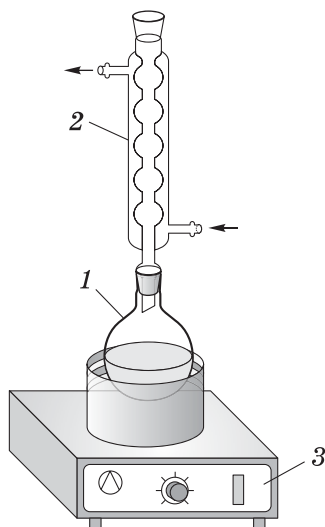


Рис. 23.4. Прибор для получения гексароданохромата(+3) калия:

1 — колба круглодонная; 2 — холодильник шариковый; 3 — колбонагреватель

Растворите полученный продукт в минимальном количестве этилового спирта (~20 мл), спиртовой раствор профильтруйте на воронке с бумажным фильтром. Фильтрат в стакане оставьте открытым на лабораторном столе до полного испарения спирта и кристаллизации соли. Взвесьте полученное вещество. Рассмотрите кристаллы под микроскопом, зарисуйте их форму.

23.4.9. Диоксодихлорид хрома(+6)

❗ Хлорид хрома(+6) и его пары ядовиты. Все опыты с этим веществом проводите только в вытяжном шкафу, в перчатках и защитных очках!

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 23.5.

Приемник 2 предварительно взвесьте с пробкой и хлоркальциевой трубкой.

В пробирку Вюрца 1 поместите смесь 1 г хлорида натрия и 1 г дихромата калия, а затем смочите ее концентрированной серной кислотой (~1 мл). Осторожно нагрейте реакционную смесь и отгоните образующийся диоксодихлорид хрома(+6) в охлаждаемый приемник 2. Приемник 2 отсоедините, закройте пробкой и взвесьте.

Проведите идентификацию полученного вещества. Для этого небольшое количество жидкости из приемника 2 вылейте в стакан с водой. Подтвердите наличие в растворе соединения хрома(+6) и хлорид-ионов.

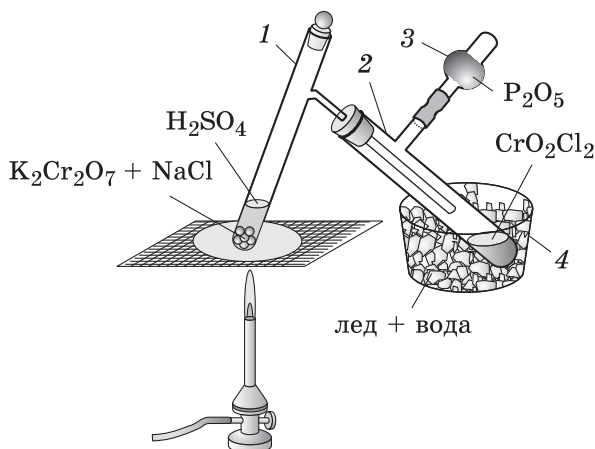


Рис. 23.5. Прибор для получения диоксодихлорида хрома(+6): 1, 2 — пробирки Вюрца; 3 — осушительная трубка с оксидом фосфора(+5) на стекловате; 4 — баня со льдом

23.4.10. Триоксохлорохромат(+6) калия

Внесите 4 г растертого в фарфоровой ступке дихромата калия в стакан с 8 мл горячего 24%-го раствора соляной кислоты. Смесь слегка подогрейте. Полученный раствор профильтруйте на воронке для горячего фильтрования и оставьте до следующего занятия.

Выпавшие кристаллы отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, затем высушите на воздухе и взвесьте.

Кристаллы полученного вещества и кристаллы исходного дихромата аммония рассмотрите под микроскопом и сравните.

23.4.11. Хлорид гекса(мочевина)хрома(+3), $[\text{Cr}(\text{OCN}_2\text{H}_4)_6]\text{Cl}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

Растворите 2,5 г гексагидрата хлорида хрома(+3) и мочевины, взятую с 10%-м избытком, в 20–25 мл дистиллированной воды. Добавьте 1–2 мл концентрированной соляной кислоты. Полученный раствор перелейте в фарфоровую чашку и упарьте на водяной бане до образования кристаллической корки. Полученную кашицеобразную массу растворите при 50–60 °С в возможно меньшем количестве воды и профильтруйте через бумажный складчатый фильтр на воронке для горячего фильтрования. Оставьте раствор охлаждаться.

Выпавшие зеленые игольчатые кристаллы отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, высушите на фильтровальной бумаге и взвесьте.

23.4.12. Ацетат хрома(+2)

Соберите прибор, изображенный на рисунке 23.6. В редуктор 1 поместите небольшое количество стекловаты и заполните его гранулированным цинком примерно на половину объема.

В колбу на 150 мл поместите 2,5 г гексагидрата хлорида хрома(+3), растворенного в минимальном количестве воды. К полученному раствору добавьте равный объем концентрированной соляной кислоты. В другой такой же колбе приготовьте насыщенный водный раствор ацетата натрия в количестве, превышающем стехиометрическое на 30%, и перелейте в реактор 2. Заполните реактор аргоном из кислородной подушки и сразу же установи-

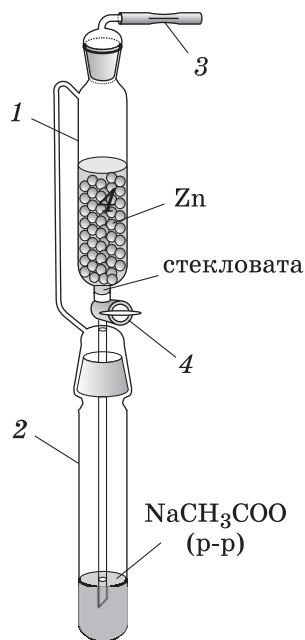


Рис. 23.6. Прибор для получения ацетата хрома(+2):
1 — редуктор; 2 — реактор; 3 — клапан Бунзена;
4 — кран

те редуктор 1. Выход стеклянной трубки редуктора должен быть погружен в раствор ацетата натрия.

Раствор хлорида хрома(+3) осторожно, небольшими порциями, прилейте к цинку в редукторе 1, не допуская бурного взаимодействия (*наденьте защитные очки!*). Редуктор закройте клапаном Бунзена 3.

После того как раствор в редукторе 1 приобретет небесно-голубую окраску, откройте кран 4 и перелейте получившийся раствор хлорида хрома(+2) в реактор 2. Выпавший осадок отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном.

❗ Не фильтруйте досуха! Над осадком всегда должен оставаться слой жидкости, препятствующий окислению!

Осадок быстро промойте несколько раз водой, затем спиртом (5 мл) и эфиром (5 мл). После промывания осадка эфиром закройте воронку пластиной из вакуумной резины.

Полученное вещество перенесите во взвешенную пробирку, заполненную аргоном, закройте пробкой и взвесьте.

23.4.13. Тетраметиламмония* дихромо(+2)- (тетраацетато)диизотиоцианат, $(\text{NMe}_4)_2[\text{Cr}_2(\text{OAc})_4(\text{NCS})_2]$ (* — или тетраэтиламмония)

Для проведения синтеза необходимо сначала получить дигидрат ацетата хрома(+2) по методике, рассмотренной в разделе 23.4.12.

Получение спиртового раствора роданида тетраалкиламмония. В стакане на 50 мл при нагревании на водяной бане растворите 1,1 г хлорида тетраметиламмония (или 1,65 г хлорида тетраэтиламмония) в 15 мл спирта, после чего добавьте по каплям раствор рассчитанного количества роданида калия в минимальном количестве (1–2 мл) воды. Раствор накройте часовым стеклом и кипятите на водяной бане 5 мин, после чего охладите до комнатной температуры. Раствор профильтруйте через складчатый фильтр, а затем промойте фильтр небольшим количеством спирта (~5 мл).

Получение комплекса хрома(+2). В сухую круглодонную колбу на 100 мл со шлифом налейте полученный ранее профильтрованный спиртовой раствор роданида тетраалкиламмония.

Взвесьте 1,7 г дигидрата ацетата хрома(+2) и добавьте к раствору. Доведите объем раствора этанолом приблизительно до 40 мл. Присоедините к колбе обратный холодильник (см. рис. 23.4 на с. 276). Холодильник сверху закройте хлоркальциевой трубкой, заполненной безводным хлоридом кальция. Пустите в холодильник воду. Раствор кипятите на водяной бане ~1 ч, пока красно-кирпичный цвет раствора не станет темно-фиолетовым.

Охладите колбу до комнатной температуры и отделите осадок фильтрованием на воронке со стеклянным фильтрующим дном при пониженном давлении, промойте спиртом, а потом диэтиловым эфиром (по 5 мл), не допуская полного высыхания осадка.

Полученное мелкокристаллическое темно-фиолетовое вещество после высушивания на воздухе поместите в пробирку, взвесьте.

23.4.14. Родохромхлорид, $[(\text{NH}_3)_5\text{Cr}(\text{OH})\text{Cr}(\text{NH}_3)_5]\text{Cl}_5$

Соберите прибор для получения ацетата хрома(+2) (см. рис. 23.6 на с. 279). Редуктор 1 заполните гранулированным цинком примерно на 2–3 см.

Приготовьте раствор 5 г гексагидрата хлорида хрома(+3) в 10 мл 10%-й соляной кислоты. В реактор 2 внесите 20 г хлорида аммония и 50 мл концентрированного раствора аммиака, сам реактор поместите в ледяную баню. Раствор хлорида хро-

ма(+3) небольшими порциями прилейте к цинку в редукторе 1 (наденьте защитные очки!). Редуктор закройте клапаном Бунзена 3. Дождитесь полного перехода цвета раствора в редукторе в небесно-голубой и, открыв кран 4, перелейте его в реактор. Полученный фиолетовый раствор поместите в коническую колбу и пропускайте кислород в течение 10 мин до изменения цвета на красный.

Охладите красный раствор в ледяной бане, отделите выпавший осадок фильтрованием на воронке со стеклянным фильтрующим дном при пониженном давлении, промойте концентрированной соляной кислотой, а затем диэтиловым эфиром (по 5 мл). Перенесите вещество в фарфоровую чашку и поставьте ее в эксикатор с оксидом фосфора(+5) (в затемненном месте). На следующий день полученные мелкие кристаллы взвесьте. Несколько кристаллов рассмотрите под микроскопом.

23.4.15. Эритрохромхлорид, $[(\text{NH}_3)_5\text{Cr}(\text{OH})\text{Cr}(\text{NH}_3)_4(\text{H}_2\text{O})]\text{Cl}_5$

Растворите 0,2 г родохромхлорида, полученного по методике 23.4.14, в 1,5 мл 2 М раствора аммиака. Дождитесь полного перехода синей окраски раствора в красную. К полученному темно-красному раствору добавьте ~3 мл охлажденной во льду концентрированной соляной кислоты, перемешайте.

Отделите выпавший осадок фильтрованием на воронке со стеклянным фильтрующим дном при пониженном давлении, промойте его концентрированной соляной кислотой, а затем диэтиловым эфиром (по 5 мл). Перенесите вещество в фарфоровую чашку, поставьте чашку в эксикатор с оксидом фосфора(+5) (в затемненном месте).

На следующий день полученные мелкие кристаллы взвесьте. Исследуйте форму кристаллов под микроскопом.

23.5. Практикум повышенной сложности по теме «Хром»

23.5.1. Хлорид хрома(+3) (получение из оксида хрома(+3))

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 23.7.

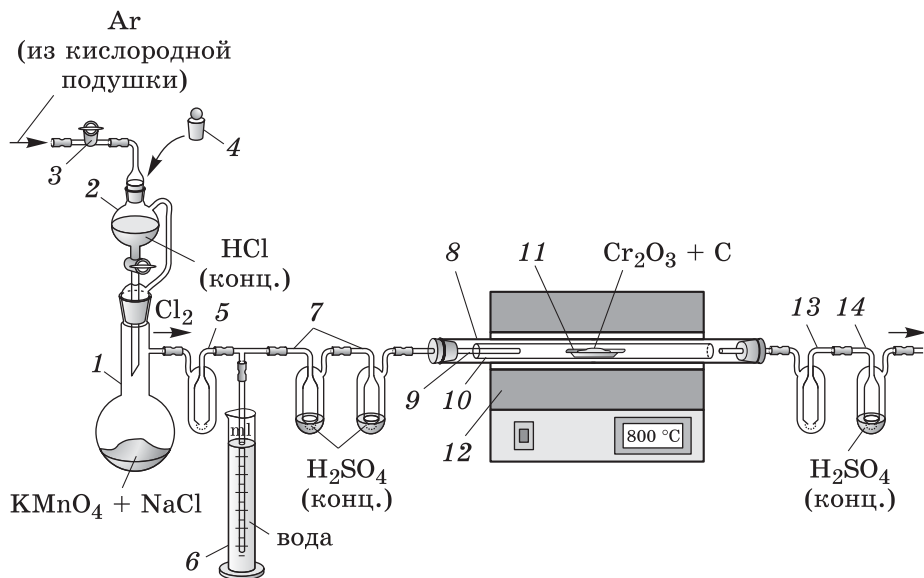


Рис. 23.7. Прибор для получения хлорида хрома(+3):

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — кран; 4 — пробка стеклянная; 5, 13 — предохранительные (обратные) промывалки; 6 — гидрозатвор; 7, 14 — промывалки с концентрированной серной кислотой; 8 — кварцевая реакционная трубка; 9 — стеклянная трубка; 10 — кварцевый вкладыш; 11 — лодочка; 12 — печь

Взвесьте ~1 г предварительно высушенного оксида хрома(+3). Добавьте к нему полторакратное (по сравнению со стехиометрическим) количество тщательно высушенного древесного угля.

❗ Перед началом синтеза выдержите растертый уголь в сушильном шкафу при 200 °С в течение 1 ч.

Перетрите полученную смесь в фарфоровой ступке и поместите ее в фарфоровую лодочку 11. Лодочку установите внутри кварцевой реакционной трубки 8 во вкладыше 10. Трубка 9 должна входить внутрь вкладыша 10.

Установите ровный ток аргона из кислородной подушки через прибор и разогрейте печь до 850 °С. Затем перекройте подачу аргона и установите ток хлора так, чтобы образующийся хлорид хрома(+3) оставался во вкладыше 10 и не закупоривал выход из реакционной трубки 8.

Хлорирование ведите в течение 1 ч, затем охладите реакционную трубку в токе хлора.

Перенесите полученный хлорид хрома(+3) в пробирку, взвесьте. Рассмотрите полученные кристаллы под микроскопом.

23.5.2. Сульфид хрома(+3)

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 23.8.

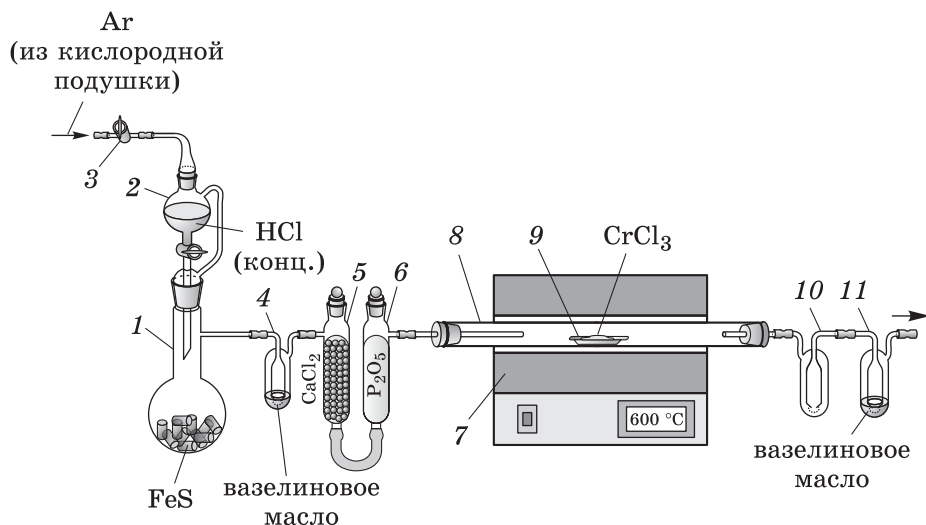


Рис. 23.8. Прибор для получения сульфида хрома(+3):

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — трубка с краном; 4, 11 — промывалки—счетчики пузырьков; 5 — осушительная колонка с безводным хлоридом кальция; 6 — осушительная колонка с оксидом фосфора(+5) на стекловате; 7 — трубчатая печь; 8 — кварцевая реакционная трубка; 9 — лодочка с хлоридом хрома(+3); 10 — предохранительная промывалка

Колбу Вюрца 1 заполните на $\frac{1}{3}$ кусочками сульфида железа(+2). Поместите ~1 г безводного хлорида хрома(+3) в фарфоровую лодочку 9.

Установите непрерывный ток сероводорода, постепенно добавляя концентрированную соляную кислоту из капельной воронки 2 в колбу Вюрца 1. Повысьте температуру в печи до 600 °C за 30 мин и выдержите при этой температуре 1 ч при непрерывном пропуске сероводорода.

После охлаждения печи вытесните сероводород током аргона. Извлеките вещество из реакционной трубки и перенесите в пробирку.

Исследуйте отношение полученного вещества к воде, разбавленным и концентрированным кислотам.

23.5.3. Нитрид хрома(+3)

Для получения нитрида хрома(+3) воспользуйтесь методикой, изложенной в разделе 15.7.1 (см. также рис. 15.8 на с. 179). Пропускайте ток аммиака над 1 г безводного хлорида хрома(+3) при 650 °C в течение 1 ч.

Полученное вещество перенесите в заранее взвешенную пробирку, закройте пробкой и взвесьте.

23.5.4. Гексатиоцианатохромат(+3) пиперидиния

В фарфоровую чашку (*в вытяжном шкафу!*) налейте 6 мл пиперидина, затем постепенно, при перемешивании стеклянной палочкой добавьте 5 г тиоцианата аммония.

Смесь нагрейте на водяной бане до полного удаления аммиака, затем охладите до комнатной температуры при постоянном перемешивании для кристаллизации образовавшегося тиоцианата пиперидиния.

Полученное вещество перекристаллизуйте из ацетона (*в вытяжном шкафу, вдали от огня!*). Выпавшие белые блестящие кристаллы отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном и, не промывая, высушите на фильтровальной бумаге, затем взвесьте.

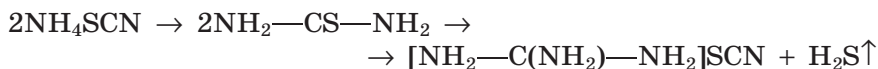
В сухую фарфоровую чашку (*в вытяжном шкафу!*) поместите очищенный тиоцианат пиперидиния и расплавьте его, нагревая чашку на водяной бане. Внесите в расплав рассчитанное количество гексагидрата хлорида хрома(+3), смесь перемешайте до образования мелких фиолетовых кристаллов. Продолжайте перемешивание еще в течение 5 мин.

Снимите чашку с водяной бани и охладите до комнатной температуры. Добавьте 10 мл воды, охлажденной в бане со льдом, снова перемешайте. Осадок отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, несколько раз промойте холодной водой (по 5 мл) и высушите на воздухе.

23.5.5. Диамминтетратиоцианатохромат(+3) аммония (соль Рейнеке)

Синтез диамминтетратиоцианатохромата(+3) аммония (соль Рейнеке) сопровождается образованием побочного продукта — диамминтетратиоцианатохромата(+3) гуанидиния (соль Морланда),

выпадающего в виде мелких розовых кристаллов. Образование побочного продукта реакции происходит в результате перегруппировки и частичного разложения при нагревании исходного роданида аммония до роданида гуанидиния:



Установите в вытяжном шкафу песчаную баню (рис. 23.9).

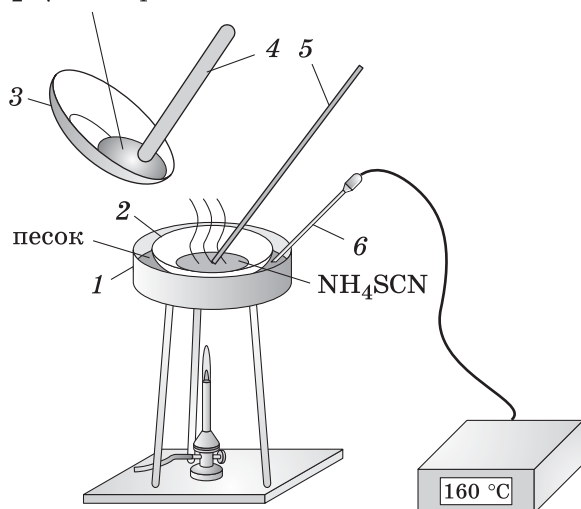
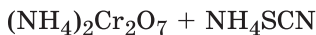


Рис. 23.9. Получение соли Рейнке:

1 — баня песчаная; 2, 3 — фарфоровые чашки; 4 — шпатель; 5 — стеклянная палочка; 6 — термометр цифровой

Поместите на песчаную баню чашку с 20 г роданида аммония и осторожно нагрейте при постоянном перемешивании стеклянной палочкой до начала плавления. Внесите в расплав небольшими порциями (примерно по 1 г) тонко растертую смесь 4,2 г дихромата аммония и 5 г роданида аммония при постоянном перемешивании. Расплав при этом окрашивается в фиолетово-малиновый цвет. Температура расплава не должна превышать 160 °С.

После прибавления всего количества смеси снимите чашку с песчаной бани и при непрерывном перемешивании охладите до затвердевания.

Затвердевший продукт разотрите в фарфоровой ступке и перенесите в стакан. Прилейте 20 мл охлажденной в бане со льдом воды, хорошо перемешайте смесь стеклянной палочкой и оставьте отстаиваться на 15 мин.

Отделите осадок от раствора фильтрованием при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном. Вещество с фильтра, не промывая, перенесите в стакан с 30 мл воды, нагретой до 60 °С, перемешайте, подогрейте раствор со взвесью до 60 °С и тотчас профильтруйте на воронке для горячего фильтрования с бумажным фильтром.

- ! Растворение и фильтрование проводите в вытяжном шкафу!
- При нагревании раствора выше 60 °С происходит быстрое разложение комплексов, сопровождающееся окрашиванием раствора в голубой цвет и образованием цианистоводородной кислоты!

Вещество на фильтре состоит из диамминтетратиоцианатохромата(+3) гуанидиния с примесью диамминтетратиоцианатохромата(+3) аммония.

Охладите на воздухе раствор после горячего фильтрования до комнатной температуры, выпавшие кристаллы отделите при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном и, не промывая, высушите на воздухе. Поместите сухие кристаллы диамминтетратиоцианатохромата(+3) аммония в пробирку и взвесьте. Рассмотрите полученные кристаллы под микроскопом и отметьте их форму.

23.5.6. Ацетилацетонат хрома(+3)

Приготовьте в стакане раствор 4 г ацетата хрома(+3) в 15 мл воды, добавьте 5 мл 2 М раствора уксусной кислоты и прилейте 10 мл ацетилацетона. Нагрейте содержимое стакана на треножнике с асбестовой сеткой до кипения.

После закипания жидкости снимите стакан, охладите его сначала на воздухе, а затем поместите в баню со льдом. Выпавшие красно-фиолетовые кристаллы *трис*-ацетилацетоната хрома(+3) отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном и высушите на фильтровальной бумаге. Взвесьте полученные кристаллы.

Соберите на лабораторном столе прибор для возгонки в вакууме (см. рис. 12.5 на с. 144) и проведите возгонку *трис*-ацетилацетоната хрома(+3) при 240–250 °С по методике, рассмотренной в разделе 12.5.1. Полученное вещество поместите в пробирку, взвесьте. Кристаллы рассмотрите под микроскопом и зарисуйте их форму.

24. МОЛИБДЕН, ВОЛЬФРАМ

24.1. Соединения молибдена(+6) и вольфрама(+6)

Молибденовый и вольфрамовый ангидриды

Возьмите два небольших фарфоровых тигля. В один поместите несколько кристаллов тетрагидрата гептамолибдата аммония, в другой — немного паравольфрамата аммония или вольфрамовой кислоты. Осторожно нагрейте содержимое тиглей и сильно прокалите.

Молибденовые и вольфрамовые кислоты

1. К 2–3 мл 20%-го раствора молибдата натрия в пробирке прилейте 2–3 мл 30%-го раствора азотной кислоты, затем осторожно прокипятите. Выделившуюся молибденовую кислоту промойте методом декантации водой. Испытайте отношение молибденовой кислоты к 10%-му раствору гидроксида натрия и к концентрированной соляной кислоте.

2. Растворите 0,5 г вольфрамата натрия в минимальном объеме воды и прилейте к нему равный объем 10%-го раствора соляной кислоты. Выделившуюся вольфрамовую кислоту промойте методом декантации водой, слегка подкисленной соляной кислотой. Испытайте отношение вольфрамовой кислоты к 10%-му раствору гидроксида натрия и к концентрированной соляной кислоте.

- В каких условиях образуется дигидрат оксида молибдена(+6)?
- Каковы цвет и состав гидратов оксида молибдена(+6) и вольфрама(+6)?

Тиосоли и сульфиды молибдена и вольфрама

Налейте в одну пробирку 1–2 мл раствора гептамолибдата аммония, а в другую 1–2 мл раствора вольфрамата натрия. Прилейте в обе пробирки по 1–2 мл концентрированного раствора аммиака и пропустите в каждую ток сероводорода. Подкислите полученные растворы 10%-м раствором соляной кислоты и слегка подогрейте.

Отметьте окраску растворов и выпавших из них при подкислении осадков.

Восстановление соединений молибдена(+6) и вольфрама(+6)

1. Налейте в три пробирки по 3 мл раствора гептамолибдата аммония, подкислите 10%-м раствором соляной кислоты и на-

грейте до кипения. После охлаждения растворов до комнатной температуры прилейте в одну пробирку по каплям раствор хлорида олова(+2), во вторую пропустите ток сероводорода, а в третью поместите 1–2 кусочка цинка.

2. Повторите эксперимент, используя в качестве исходного реагента вольфрамат натрия.

- Каково строение молибденовых «синей»?

Пероксидные соединения молибдена и вольфрама

К 3 мл подкисленных 1–2 каплями 10%-й соляной кислоты растворов гептамолибдата аммония и вольфрамата натрия в отдельных пробирках прилейте по несколько капель 3%-го раствора пероксида водорода. Отметьте цвета полученных растворов.

24.2. Синтезы по теме «Молибден, вольфрам»

24.2.1. Оксид молибдена(+6)

Поместите в тигельную печь (*в вытяжном шкафу!*) взвешенный фарфоровый тигель с 0,5 г тетрагидрата гептамолибдата аммония. Опустите в печь кварцевую или фарфоровую трубку, подсоединенную резиновой трубкой к воздушной магистрали, и прокалите тигель с веществом в слабом токе воздуха 30 мин при 350–400 °С, а затем 1 ч при 750 °С.

После охлаждения печи извлеките тигель и взвесьте.

Испытайте отношение полученного оксида молибдена(+6) к воде, 10%-м растворам соляной кислоты и гидроксида натрия.

- Почему прокаливание тетрагидрата гептамолибдата аммония следует проводить в токе воздуха и при двух температурах?

24.2.2. Тетрагидрат гептамолибдата(+6) аммония

В стакан налейте 20 мл концентрированного раствора аммиака и добавьте при нагревании и перемешивании молибденовую кислоту небольшими порциями до прекращения растворения. Избыток молибденовой кислоты отделите на воронке с бумажным фильтром. Фильтрат перелейте в фарфоровую чашку и выпаривайте на водяной бане до начала кристаллизация пробы, помещенной на часовое стекло.

Охладите раствор, выпавшие кристаллы отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим

дном, высушите на воздухе и взвесьте. Рассмотрите кристаллы под микроскопом и отметьте их форму.

24.2.3. Пентахлорооксомолибдат(+5) аммония

Поместите в стакан 2 г тетрагидрата гептамолибдата аммония, прилейте 15 мл концентрированной соляной кислоты и нагрейте при перемешивании до его полного растворения. Усиьте нагрев до слабого кипения жидкости в стакане и при постоянном перемешивании прибавьте рассчитанное по уравнению реакции количество иодида аммония.

Полученный раствор кипятите до полного удаления выделяющегося в реакции иода, затем охладите стакан с раствором на воздухе.

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 22.2 (см. с. 262). Охладите стакан с полученным раствором в бане со льдом и водой. Установите непрерывный ток хлороводорода. Воронка 5 должна слегка касаться поверхности раствора. Выпавшие кристаллы отделите от раствора при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, затем высушите на фильтровальной бумаге, поместите в пробирку и взвесьте.

24.2.4. Тетратиомолибдат(+6) аммония

Растворите в стакане объемом 150 мл 5 г тетрагидрата гептамолибдата(+6) аммония в 40 мл воды. Прибавьте к полученному раствору (в вытяжном шкафу!) 25 мл концентрированного раствора аммиака.

Соберите в вытяжном шкафу прибор для получения сероводорода. Заполните на $\frac{1}{3}$ колбу Вюрца кусочками сульфида железа(+2), установите капельную воронку и заполните ее на $\frac{2}{3}$ 20%-й серной кислотой. Присоедините к колбе Вюрца предохранительную (обратную) промывалку и изогнутую стеклянную трубку.

Пропускайте сероводород через трубку в бесцветный аммиачный раствор гептамолибдата аммония до изменения цвета сначала на желтый, а потом на темно-красный. Дождитесь выпадения красных кристаллов.

Выпавшие кристаллы отделите от раствора при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном (в вытяжном шкафу!), промойте холодной водой и этанолом (по 5 мл).

24.2.5. Бисацетилацетонат диоксомолибдена(+6)

Растворите в стакане 1,5 г тетрагидрата гептамолибдата(+6) аммония в 5 мл воды. Поставьте стакан на магнитную мешалку (*в вытяжном шкафу!*) и закрепите над ним в лапке штатива капельную воронку. При постоянном перемешивании постепенно добавляйте из воронки к полученному раствору 3 мл свежеперегнанного ацетилацетона, а затем 1 мл концентрированной азотной кислоты. Продолжите перемешивание раствора вместе с образовавшимся осадком в течение 1 ч.

Выпавшие желтые кристаллы отделите от раствора (*сразу же, не оставляйте до следующего дня!*) на воронке со стеклянным фильтрующим дном при пониженном давлении, промойте холодной водой, этанолом и диэтиловым эфиром (по 5 мл).

24.2.6. Полиоксометаллат Mo_{132} , $(\text{NH}_4)_{42}[\text{Mo}_{72}^{+6}\text{Mo}_{60}^{+5}\text{O}_{372}(\text{CH}_3\text{COO})_{30}(\text{H}_2\text{O})_{72}] \cdot \sim 300\text{H}_2\text{O}$

Растворите в конической колбе на 500 мл 6,5 г тетрагидрата гептамолибдата аммония и 12,5 г ацетата аммония в 250 мл воды. Добавьте к полученному раствору 0,8 г сульфата гидразиния и перемешивайте еще 10 мин. После того как цвет раствора станет сине-зеленым, добавьте 83 мл 50%-й уксусной кислоты (*в вытяжном шкафу!*) и оставьте раствор без перемешивания в открытой колбе, накрытой фильтровальной бумагой или часовым стеклом, на неделю.

Выпавшие красно-коричневые кристаллы отделите от раствора на воронке со стеклянным фильтрующим дном при пониженном давлении. Рассмотрите полученные кристаллы под микроскопом.

24.3. Практикум повышенной сложности по теме «Молибден, вольфрам»

24.3.1. Гексахлоромолибдат(+3) аммония

Поместите в коническую колбу 5 г молибденовой кислоты, прилейте 25 мл концентрированной соляной кислоты (*в вытяжном шкафу!*). Смесь подогрейте при перемешивании стеклянной палочкой до полного растворения молибденовой кислоты и образования лимонно-желтого раствора. После охлаждения раствора

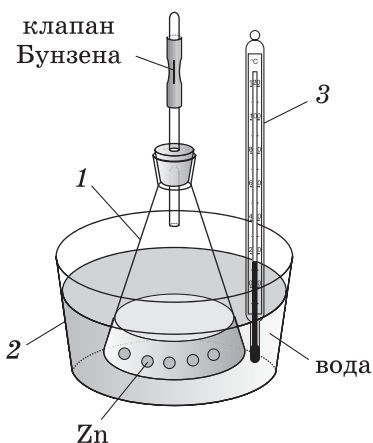


Рис. 24.1. Восстановление молибденовой кислоты цинком:

1 — коническая колба; 2 — баня с водой;
3 — термометр

в колбе до комнатной температуры добавьте 7 г гранулированного цинка, закройте колбу пробкой с клапаном Бунзена и поместите в баню с водой (рис. 24.1).

Поддерживайте температуру воды в бане равной 15–20 °С, добавляя при необходимости кусочки льда.

Вначале раствор приобретает зеленую окраску соединений молибдена(+5), затем окрашивается в красно-коричневый цвет. Для проверки полноты прохождения реакции налейте в пробирку 1–2 мл концентрированной соляной кислоты, добавьте из пипетки 1–2 капли полученного раствора. Нагрейте раствор в пробирке до кипения. Вишнево-красная окраска раствора в проходящем свете свидетельствует о полном восстановлении молибдена(+6) до молибдена(+3).

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 23.2 (см. с. 274). Баню со льдом и водой установите на магнитную мешалку. В колбу Вюрца 1 поместите 30 г хлорида натрия, смоченного водой или 3–5 мл концентрированной соляной кислоты. Осторожно перелейте раствор из колбы с цинком в коническую колбу 6 и охладите в бане со льдом и водой 7.

При непрерывном перемешивании пропустите хлороводород в колбу 6. Полноту поглощения контролируйте периодическим взвешиванием колбы с раствором 6. Всего должно поглотиться не менее 8 г хлороводорода.

После насыщения раствора хлороводородом закройте колбу пробкой с клапаном Бунзена и нагрейте на водяной бане до 40–50 °С.

Затем, сняв пробку с клапаном Бунзена, при непрерывном перемешивании добавьте в колбу небольшими порциями тщательно растертый в фарфоровой ступке хлорид аммония, взятый с 30%-м избытком. Новую порцию хлорида аммония вносите только после полного растворения предыдущей.

Оставьте раствор медленно охлаждаться до комнатной температуры для постепенной кристаллизации гексахлоромолибдата(+3) аммония. Выпавшие розово-красные кристаллы отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном. Осадок на фильтре промойте охлажденной 20%-й соляной кислотой. Высушите полученное вещество на фильтровальной бумаге.

24.3.2. Дибромид молибдена

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 24.2. Реакционную трубку 8 установите с небольшим наклоном в сторону приемника.

Промойте порошок молибдена вначале разбавленной соляной кислотой, затем водой и высушите на фильтровальной бумаге. Поместите ~1 г порошка молибдена в фарфоровую лодочку 9 и внесите в реакционную трубку 8.

В промывалку 7 налейте 5–6 мл брома.

! Работать с бромом можно только в вытяжном шкафу, в перчатках и защитных очках!

Откройте кран 5 обводной линии. Подсоедините прибор через редуктор к баллону и установите ровный ток аргона.

Разогрейте печь до 700 °С и закройте кран 5, аргон теперь должен проходить над поверхностью брома в промывалке 7. Подберите ток аргона и температуру воды в стакане 6 так, чтобы практически весь испаряющийся бром вступал в реакцию.

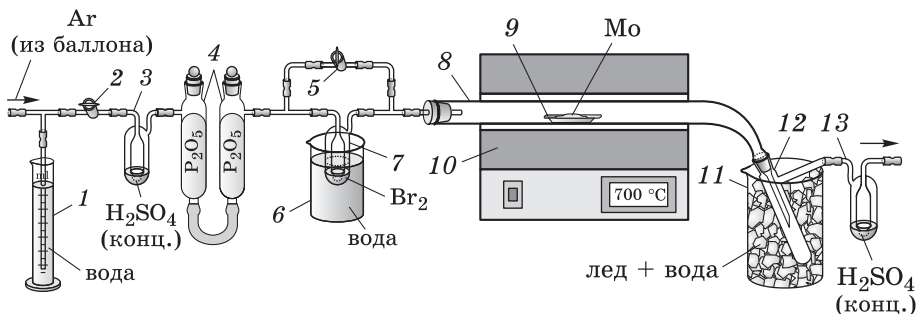


Рис. 24.2. Прибор для получения дибромид молибдена:

1 — гидрозатвор; 2, 5 — краны; 3, 13 — промывалки с концентрированной серной кислотой; 4 — осушительные колонки с оксидом фосфора(+5) на стекловате; 6 — стакан с водой; 7 — промывалка с бромом; 8 — кварцевая реакционная трубка; 9 — лодочка фарфоровая; 10 — печь трубчатая; 11 — баня со льдом и водой; 12 — приемник для улавливания паров брома

Бромирование ведите в течение 1 ч, затем откройте кран 5 обводной линии и охладите промывалку с бромом в стакане 6 с холодной водой и льдом. Аргон пропускайте до полного удаления паров брома из прибора, затем выключите печь.

24.3.3. Вольфрамовые бронзы

Получение паравольфрамата натрия. Поместите в стакан 4,2 г дигидрата вольфрамата натрия и добавьте 5 мл воды. Стакан поместите в водяную баню и установите на магнитную мешалку. Закройте стакан часовым стеклом и нагрейте воду в бане до $\sim 80^\circ\text{C}$. При непрерывном перемешивании добавляйте к раствору небольшими порциями 20%-ю соляную кислоту для снижения рН раствора до 6–6,5 (по универсальной индикаторной бумаге). Стакан, закрытый часовым стеклом, выдержите в водяной бане 1 ч при 80°C , затем оставьте для медленного охлаждения. Выпавшие кристаллы отделите фильтрованием при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, высушите на фильтровальной бумаге.

Получение вольфрамовых бронз. Синтез проводится по методике 19.9.4 (Сульфид бария). Соберите прибор для восстановления в токе водорода (см. рис. 19.7 на с. 218). В фарфоровую лодочку поместите полученный паравольфрамат натрия. Восстановление ведите при 700°C в течение 1 ч.

После охлаждения реакционной трубки до комнатной температуры поместите полученные вольфрамовые бронзы в пробирку. Рассмотрите вещество под микроскопом.

- Какой состав имеет паравольфрамат натрия?
- Как зависит цвет бронз от их состава?

25. МАРГАНЕЦ

25.1. Соединения марганца(+2)

Гидроксид марганца(+2)

Налейте в четыре пробирки по 1–2 мл раствора соли марганца(+2) и добавьте в каждую 1 М раствор гидроксида натрия. Отметьте цвет полученного осадка гидроксида марганца(+2).

Подействуйте на осадок в первой пробирке 1 М раствором соляной кислоты. К осадку во второй пробирке добавьте 20%-й раствор гидроксида натрия, затем содержимое пробирки нагрейте. В третью пробирку прилейте бромной воды. Четвертую пробирку с осадком оставьте на воздухе до окончания занятия. Отметьте изменение цвета осадка.

- Какими реагентами и в каких условиях можно осадить гидроксид марганца(+2)?

Соли марганца(+2)

Налейте в две пробирки по 1–2 мл раствора соли марганца(+2). В первую пробирку добавьте раствор оксалата аммония.

Во вторую пробирку прилейте свежеприготовленный раствор сульфида аммония и оставьте пробирку с осадком в вытяжном шкафу до окончания занятия. Отметьте изменение цвета осадка.

В третью пробирку поместите несколько кристаллов пероксодисульфата аммония (или калия), растворите их в 1–2 мл воды, добавьте каплю раствора нитрата серебра. Прилейте в пробирку 1 мл разбавленного раствора нитрата марганца(+2), подкисленного азотной кислотой, затем нагрейте. Отметьте окраску полученного раствора.

- Какова роль нитрата серебра в реакции окисления марганца(+2)?

25.2. Соединения марганца(+3)

1. В пробирку с 3–4 мл раствора сульфата марганца(+2), подкисленного серной кислотой, добавьте раствор пиррофосфата натрия. Затем прилейте по каплям раствор перманганата калия до образования соединения марганца(+3). Отметьте изменение окраски раствора.

2. Тщательно перетрите в фарфоровой ступке 0,5 г MnO_2 и 3,5 г $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, поместите смесь в фарфоровый тигель и нагревайте до изменения окраски расплава с черной на красно-фиолетовую. Полученный расплав вылейте на термостойкую пластину.

25.3. Оксид марганца(+4)

К раствору соли марганца(+2) в пробирке добавьте раствор перманганата калия. Отметьте изменение окраски раствора.

Подействуйте на оксид марганца(+4) концентрированной соляной кислотой (*в вытяжном шкафу!*), 10%-й азотной кислотой, раствором щавелевой кислоты, концентрированным раствором гидроксида натрия. Добавьте (*осторожно!*) к оксиду марганца(+4) несколько капель 3%-го раствора пероксида водорода.

25.4. Манганат(+5) натрия

Расплавьте в ушке нихромовой проволоки или в небольшом фарфоровом тигле гранулу гидроксида натрия в пламени горелки, затем охладите. Насыпьте на застывший гидроксид натрия немного порошка оксида марганца(+4) и вновь нагрейте до расплавления. Отметьте цвет образующегося расплава.

25.5. Манганат(+6) калия

Поместите в большую пробирку 1 г тонкоизмельченного перманганата калия и добавьте 10 мл концентрированного раствора гидроксида калия. Нагрейте содержимое пробирки в бане с кипящей водой до образования темно-зеленого раствора манганата калия(+6). Охладите полученный раствор до комнатной температуры.

1. В пробирку с 5 мл воды добавьте несколько капель раствора манганата(+6) калия, а затем подкислите полученный раствор разбавленной серной кислотой. Отметьте изменение окраски раствора при подкислении.

2. К 1–2 мл раствора манганата(+6) калия в пробирке добавьте концентрированный раствор хлорида бария. Отметьте цвет выпавшего осадка.

3. К 2–3 мл 10%-го раствора гидроксида натрия или калия в пробирке добавьте несколько капель раствора манганата(+6) калия и несколько капель этилового спирта, затем осторожно нагрейте.

4. Налейте в две пробирки по 2–3 мл разбавленного раствора манганата(+6) калия. Добавьте в одну пробирку несколько кристалликов щавелевой кислоты, взятой в недостатке, в другую пробирку добавьте избыток щавелевой кислоты. Растворы подогрейте. Сравните изменение окраски растворов в пробирках.

- Как зависит состав продуктов взаимодействия манганата(+6) калия со щавелевой кислотой от соотношения исходных реагентов?

25.6. Перманганат калия

1. Несколько кристаллов перманганата калия поместите в сухую пробирку и нагрейте. После охлаждения добавьте воду в пробирку.

2. К 1 мл концентрированного раствора перманганата калия добавьте 5 мл 40%-го раствора гидроксида калия. В полученный раствор добавляйте небольшими порциями при перемешивании сухую глюкозу.

3. К 2–3 мл раствора перманганата калия прибавьте раствор сульфида натрия.

4. К 2–3 мл подкисленного 1 М раствором серной кислоты раствора перманганата калия добавьте по каплям раствор иодида калия.

5. Налейте в пробирку 2–3 мл раствора перманганата калия, подкислите 1 М раствором серной кислоты и добавьте несколько капель раствора сульфита натрия. Проведите аналогичные опыты взаимодействия растворов перманганата калия и сульфита натрия в нейтральной и щелочной средах.

Отметьте изменения, происходящие в исследуемых растворах. Напишите уравнения реакций, соответствующие наблюдаемым изменениям.

25.7. Синтезы по теме «Марганец»

25.7.1. Получение марганца методом алюмотермии

! Опыт проводите в вытяжном шкафу, под наблюдением преподавателя. Наденьте очки или маску!

Для получения марганца воспользуйтесь методикой, изложенной в разделе 12.4.1.

Поместите в фарфоровый тигель 8 г тонкоизмельченного оксида марганца(+4), прокалите тигель в течение 1 ч при ~800 °С в муфельной или тигельной печи. Полученный в результате прокаливания продукт тщательно перемешайте с 2 г свежеприготовленного порошка металлического алюминия и используйте в ка-

честве реакционной смеси для получения марганца. В качестве зажигательной смеси используйте 1–2 г смеси порошка магния и пероксида бария, взятых в массовом соотношении 1 : 9.

После окончания реакции и охлаждения тигля извлеките «королек» марганца.

25.7.2. Тригидрат триоксалатоманганата(+3) калия

Приготовьте в стакане раствор 5 г щавелевой кислоты в 50 мл воды. Нагрейте раствор на водяной бане до 70–75 °С и добавьте небольшими порциями при перемешивании 1 г растертого в ступке перманганата калия. После обесцвечивания раствора внесите в стакан небольшими порциями 1,1 г карбоната калия. Смесь охладите в бане со льдом при энергичном перемешивании. Все дальнейшие операции проводите в затемненном стакане (оберните его алюминиевой фольгой или черной бумагой).

Охладите стакан с раствором в ледяной бане до 0–2 °С и при перемешивании, маленькими порциями, в течение 10 мин прибавьте 0,3 г растертого перманганата калия. К полученному вишнево-красному раствору добавьте 40 мл охлажденного в воде со льдом этилового спирта и оставьте на 2 ч для кристаллизации в охлаждающей смеси льда с хлоридом натрия.

Выделившееся вещество быстро отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, промойте охлажденным спиртом, а затем диэтиловым эфиром.

Полученные темно-красные кристаллы высушите на фильтровальной бумаге в затемненном месте, перенесите в пробирку с пробкой. Пробирку оберните алюминиевой фольгой или черной бумагой: чистые препараты без доступа света сохраняются при комнатной температуре продолжительное время.

25.7.3. Гексахлороманганат(+4) калия и моногидрат пентахлороманганата(+3) калия

Внесите маленькими порциями при постоянном перемешивании 2,5 г порошка перманганата калия в коническую колбу с 25 мл концентрированной соляной кислоты (*в вытяжном шкафу!*). Реакционную смесь оставьте на 2 ч. После завершения реакции образовавшийся красно-коричневый раствор слейте в стакан, а черный осадок гексахлороманганата(+4) калия отделите от остатков раствора на воронке со стеклянным фильтрующим дном при пониженном давлении, высушите на фильтровальной бумаге.

К красно-коричневому раствору в стакане приливайте по каплям при перемешивании концентрированный раствор хлорида калия до тех пор, пока раствор не станет лишь слабоокрашенным. Выпавший кристаллический коричневый осадок моногидрата пентахлороманганата(+3) калия отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, высушите на фильтровальной бумаге.

25.7.4. 13-Ванадоманганат(+4) калия, $K_7[MnV_{13}O_{38}] \cdot 18H_2O$

Растворите 3,1 г метаванадата аммония в 50 мл воды и осторожно, небольшими порциями добавьте к полученному раствору 20%-й раствор серной кислоты до полного осаждения гидратированного оксида ванадия(+5). Отфильтруйте осадок через бумажный фильтр, промойте его на фильтре небольшим количеством воды и перенесите в стакан объемом 250 мл.

Налейте в стакан со свежесоздавшимся оксидом ванадия(+5) 100 мл воды и внесите 1,8 г карбоната калия. Полученную смесь при перемешивании нагрейте до 60–80 °С. Для ускорения растворения оксида ванадия(+5) добавьте 1–2 мл 3%-го раствора пероксида водорода. После растворения всего оксида ванадия(+5) нагрейте полученный раствор до кипения для разложения избытка пероксида водорода.

Горячий раствор подкислите до pH 4–5, добавляя по каплям при перемешивании 1 М раствор азотной кислоты. Нагрейте раствор до 60–70 °С и прибавьте при перемешивании свежеприготовленный раствор 0,5 г перманганата калия в 10 мл воды, а затем по каплям 10 мл 1%-го раствора пероксида водорода до перехода окраски в темно-красную.

Упарьте полученный раствор до половины объема на водяной бане, а затем оставьте на сутки для кристаллизации. Выпавшие кристаллы отделите при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, промойте небольшим количеством охлажденной в бане со льдом воды, высушите на фильтровальной бумаге.

25.7.5. Манганат(+5) натрия

Приготовьте насыщенный при 0 °С раствор 0,2 г перманганата калия в воде. В высокий стакан объемом 150 мл внесите 40 мл 30%-го раствора гидроксида натрия и растворите в нем

12 г тщательно растертого гептагидрата сульфита натрия. Поместите стакан в баню с охлаждающей смесью льда и хлорида натрия. Охладите стакан до 0 °С и добавьте в него небольшими порциями при непрерывном перемешивании охлажденный раствор перманганата калия. Отметьте изменение окраски раствора.

Поместите в пробирку ~1 мл полученного раствора и добавьте 2–3 мл воды. Объясните наблюдаемые явления.

25.7.6. Манганат(+6) калия

Приготовьте в стакане раствор 2 г перманганата калия и 6 г гидроксида калия в 10 мл воды (*наденьте защитные очки!*). Стакан закройте часовым стеклом, нагрейте раствор и кипятите до перехода окраски в зеленый цвет, затем добавьте в стакан воду до объема исходного раствора и поставьте в баню со льдом.

Выпавшие кристаллы отделите при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, затем промойте на фильтре небольшим количеством 1 М раствора гидроксида калия и высушите на фильтровальной бумаге.

25.8. Практикум повышенной сложности по теме «Марганец»

25.8.1. Оксид марганца(+2)

! Водород горюч и в смеси с кислородом или воздухом взрывоопасен. Все опыты с водородом разрешается проводить только в маске, вдали от огня и в присутствии преподавателя.

Поместите в фарфоровую чашку 1 г дигидрата оксалата марганца(+2) и выдержите в сушильном шкафу при 150–180 °С для обезвоживания в течение 1 ч. Соберите прибор, изображенный на рисунке 25.1.

Закройте кран 2. Безводный оксалат марганца(+2) в фарфоровой лодочке 8 поместите в среднюю часть реакционной трубки 7.

Вытесните воздух из пробора током аргона из кислородной подушки. Закройте кран 4 и откройте кран 2, включите генератор водорода и проверьте водород на выходе из прибора на чистоту. Убедившись в чистоте водорода, нагрейте пламенем горелки лодочку 8 с оксалатом марганца в реакционной трубке 7.

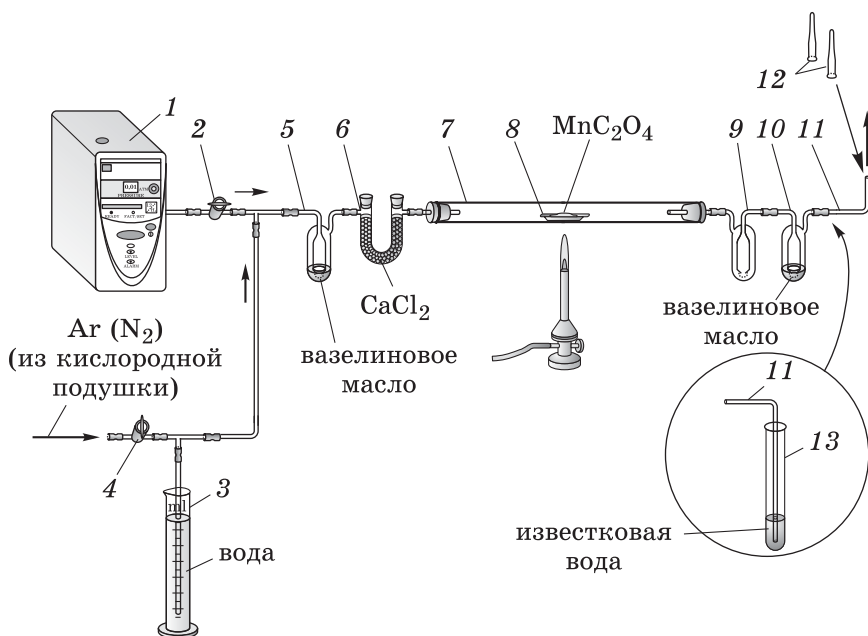


Рис. 25.1. Прибор для получения оксида марганца(+2):

1 — генератор водорода; 2, 4 — краны; 3 — гидрозатвор; 5, 10 — счетчики пузырьков с вазелиновым маслом; 6 — U-образная трубка; 7 — трубка реакционная; 8 — лодочка; 9 — предохранительная (обратная) промывалка; 11 — Г-образная трубка; 12 — пробирки для проверки водорода на чистоту; 13 — пробирка с известковой водой

После полного разложения оксалата марганца(+2) и прекращения выделения углекислого газа, определяемого по реакции с раствором гидроксида кальция, охладите реакционную трубку в токе водорода. Затем вытесните водород из прибора током аргона, извлеките лодочку из реакционной трубки и пересыпьте в пробирку, заполненную аргоном. Пробирку с веществом закройте пробкой. Докажите, что получен оксид марганца(+2).

25.8.2. Безводный хлорид марганца(+2) (гидрохлорирование)

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 25.2. В колбу 6 поместите 0,2–0,3 г порошка марганца и прилейте 15 мл абсолютированного этанола. Трубка 5 должна находиться выше поверхности этанола. Охладите колбу в бане со льдом 12. Установите ток хлороводорода 1–2 пузырька в 1 с через промывалку 11. После насыщения спирта хлороводородом

извлеките трубку 5 из колбы и закройте горловину колбы 6 стеклянной пробкой 7. Отсоедините промывалки 10 и 11, а холодильник закройте хлоркальциевой трубкой 9 с безводным хлористым кальцием.

Уберите баню с охлаждающей смесью и оставьте колбу с реакционной смесью до следующего дня. Если за это время металл полностью не прореагирует, раствор в колбе можно подогреть на водяной бане.

Соберите прибор для отгонки растворителя в вакууме (см. рис. 14.4 на с. 165). Проведите отгонку этанола и десольватацию вещества по методике, рассмотренной в разделе 14.9.1. После полной десольватации и образования нежно-розового безводного хлорида марганца(+2) в реакторе снимите водяную баню, охла-

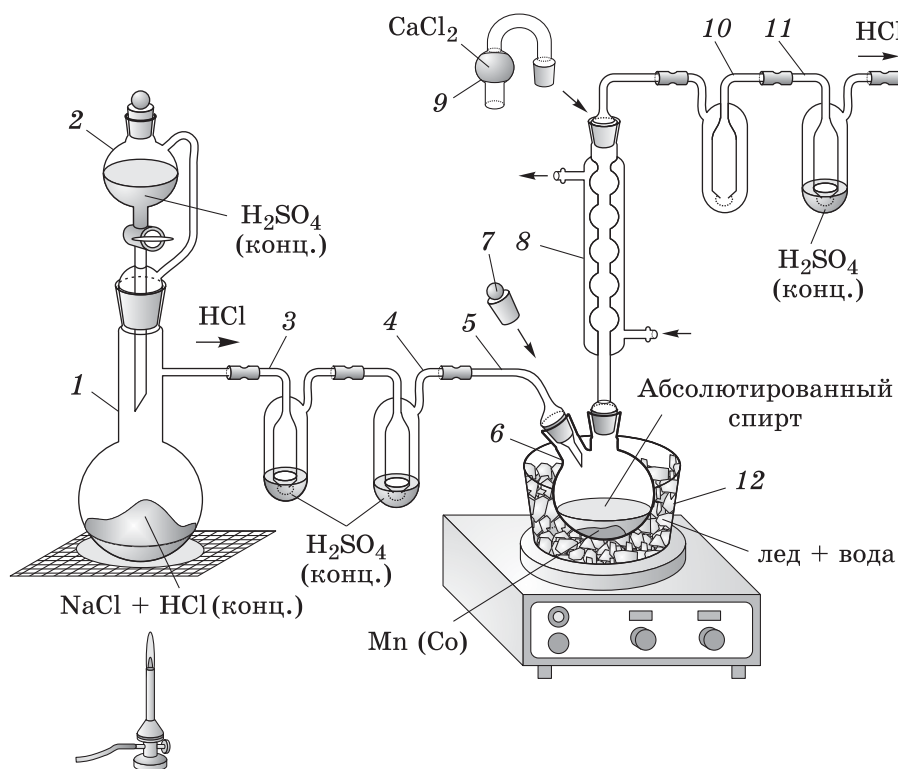


Рис. 25.2. Прибор для получения хлорида марганца(+2) в абсолютном спирте:

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3, 4, 11 — промывалки с концентрированной серной кислотой; 5 — стеклянная трубка; 6 — колба двугорлая; 7 — пробка стеклянная; 8 — шариковый холодильник; 9 — хлоркальциевая трубка с безводным хлоридом кальция; 10 — предохранительная (обратная) промывалка; 12 — баня со льдом

дите реактор в вакууме водоструйного насоса до комнатной температуры. Затем запустите воздух в прибор и выключите насос.

Заполните пробирку аргоном и как можно быстрее перенесите в нее полученный безводный хлорид марганца(+2).

25.8.3. Оксоацетат марганца(+3)

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 25.3. Хлоркальциевую трубку 5 заполните гранулированным хлоридом кальция.

В колбу 1 поместите 2,5 г тетрагидрата ацетата марганца(+2) и прилейте 17 мл свежеприготовленной дважды вымороженной ледяной уксусной кислоты (*в защитных очках!*). Смесь в колбе быстро нагрейте при непрерывном перемешивании. После растворения всего ацетата марганца немедленно вставьте в боковое горло колбы 1 небольшую воронку 2 и маленькими порциями за 1–2 мин внесите 0,4 г тонкоизмельченного порошка перманганата калия. Закройте горловину колбы пробкой 3 и кипятите

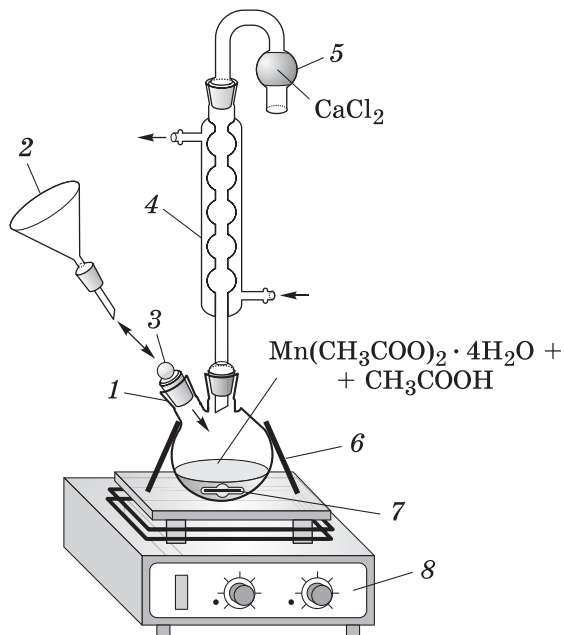


Рис. 25.3. Прибор для синтеза оксоацетата марганца(+3):

1 — колба двугорлая; 2 — воронка химическая; 3 — пробка стеклянная; 4 — шариковый холодильник; 5 — хлоркальциевая трубка с безводным хлористым кальцием; 6 — теплозащитный экран из негорючей ткани; 7 — перемешивающий стержень; 8 — магнитная мешалка с нагревателем

раствор 30 мин. Образовавшуюся темно-коричневую жидкость охладите до 50 °С, затем добавьте 1 мл воды.

Выпавшие кристаллы отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, промойте на фильтре 3–5 мл дважды вымороженной ледяной уксусной кислоты (см. раздел 14.9.2), а затем 3–5 мл абсолютированного диэтилового эфира, закрыв воронку пластиной из вакуумной резины. Полученные бурые, с шелковистым блеском кристаллы взвесьте в пробирке и рассчитайте выход (в %).

25.8.4. Молибдоманганат(+4) аммония, $(\text{NH}_4)_6[\text{MnMo}_9\text{O}_{32}] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Приготовьте в стакане при слабом нагревании раствор 10 г тетрагидрата гептамолибдата аммония в 100 мл воды. Полученный раствор охладите до комнатной температуры. Установите стакан на магнитной мешалке, укрепите над ним в лапке штатива капельную воронку, заполненную 20%-й серной кислотой (рис. 25.4).

При непрерывном перемешивании добавляйте по каплям кислоту из капельной воронки 2 в раствор гептамолибдата аммония в стакане 1, пока pH не понизится до 3–3,5. Затем прилейте в стакан свежеприготовленный раствор 1 г перманганата калия в 70 мл воды.

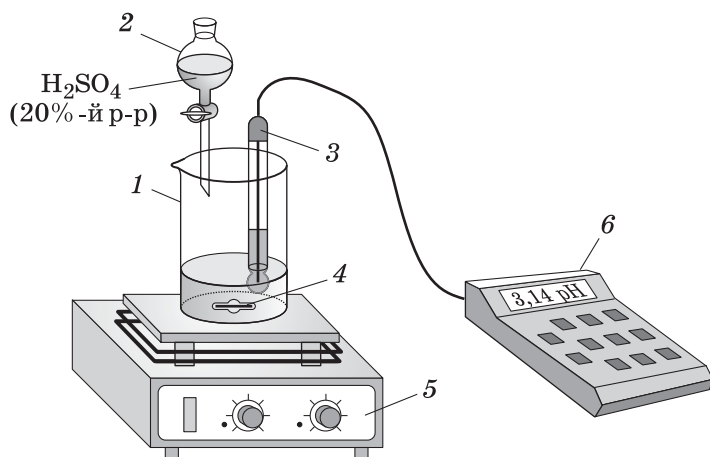


Рис. 25.4. Подкисление раствора гептамолибдата аммония:

1 — стакан; 2 — капельная воронка; 3 — измерительный комбинированный pH-электрод; 4 — перемешивающий стержень; 5 — магнитная мешалка; 6 — pH-метр

Уберите капельную воронку и укрепите над стаканом бюретку с 20 мл свежеприготовленного 3%-го раствора пероксида водорода. Нагрейте раствор в стакане при непрерывном перемешивании до 70–80 °С. По каплям (~1 капля за 5 с) прибавьте из бюретки раствор пероксида водорода до перехода фиолетовой окраски раствора в оранжевую. Закройте стакан часовым стеклом и оставьте охлаждаться при комнатной температуре.

Выпавшие оранжево-красные кристаллы отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, промойте на фильтре небольшим количеством воды, охлажденной в бане со льдом, затем высушите на фильтровальной бумаге.

25.8.5. Манганат(+6) натрия

Соберите прибор, изображенный на рисунке 25.5.

Тщательно перетрите в фарфоровой ступке в среде осушенного тетрахлорида углерода 2 г смеси пероксида натрия и диоксида марганца стехиометрического состава (*в вытяжном шкафу, в очках!*) до образования пастообразной массы (*не допускайте*

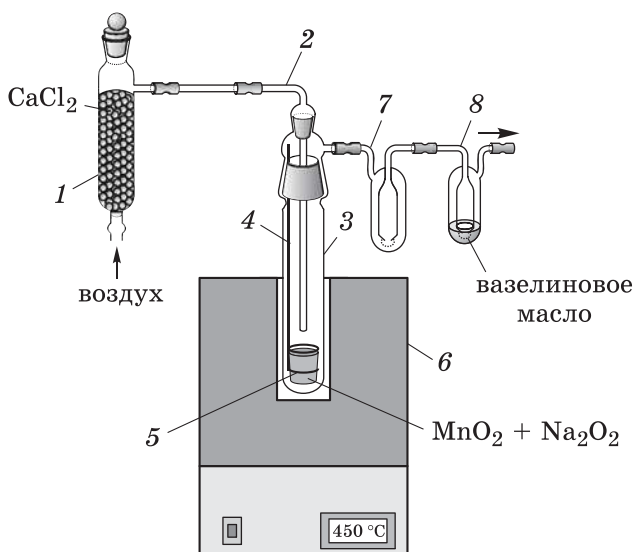


Рис. 25.5. Прибор для синтеза манганата(+6) натрия:

1 — колонка осушительная с безводным хлористым кальцием; 2 — стеклянная трубка; 3 — реактор; 4 — нихромовый держатель; 5 — тигель с веществом; 6 — печь тигельная; 7 — предохранительная (обратная) промывалка; 8 — промывалка — счетчик пузырьков с вазелиновым маслом.

высыхания смеси!)). Полученную массу поместите в фарфоровый тигель 5.

Разогрейте реакционную смесь до 450 °С за 30 мин в слабом токе воздуха и выдержите при этой температуре 1 ч. Охладите вещество в реакторе до комнатной температуры, затем извлеките из тигля и поместите в пробирку.

26. ЖЕЛЕЗО, КОБАЛЬТ, НИКЕЛЬ

26.1. Свойства железа

Подействуйте на порошок железа концентрированными и разбавленными (~1 М) кислотами: соляной, серной и азотной при комнатной температуре и нагревании.

26.2. Гидроксиды и оксиды железа, кобальта и никеля

Гидроксид железа(+2)

Прокипятите в колбе дистиллированную воду в течение 5–10 мин с одновременным пропусканием через нее тока азота из кислородной подушки, а затем охладите, продолжая пропускать азот, до комнатной температуры. Закройте колбу пробкой.

Налейте по 3–4 мл свежеприготовленной дегазированной воды в две пробирки. Растворите в одной пробирке несколько кристаллов соли Мора, внесите в раствор немного порошка железа и добавьте несколько капель 10%-го раствора серной кислоты.

В воде, налитой во вторую пробирку, растворите одну гранулу гидроксида натрия и охладите раствор. К полученному раствору щелочи прилейте по каплям раствор соли Мора из первой пробирки (не перемешивайте!). Оставьте осадок на воздухе и наблюдайте за изменением его цвета.

Исследуйте отношение свежееосажденного гидроксида железа(+2) к: 10%-му раствору серной кислоты, концентрированному раствору щелочи, концентрированному раствору аммиака.

Гидроксид железа(+3)

Осадите гидроксид железа(+3) действием на раствор соли железа(+3) 10%-го раствора гидроксида натрия и поместите его в две пробирки. Добавьте к осадку в первой пробирке 10%-й раствор соляной кислоты. Во вторую пробирку прилейте избыток концентрированного раствора гидроксида натрия, затем нагрейте (в защитных очках!).

- Какой из гидроксидов железа обладает более основными свойствами? Как это можно объяснить?

Гидроксид кобальта(+2)

Налейте в пробирку 3–4 мл 10%-го раствора гидроксида натрия и прилейте раствор соли кобальта(+2). Отметьте цвет образующегося осадка.

Испытайте действие на свежееосажденный гидроксид кобальта(+2) 10%-х растворов соляной кислоты и гидроксида натрия.

К части осадка прилейте 1–2 мл концентрированного раствора аммиака, содержимое пробирки нагрейте и хорошо перемешайте стеклянной палочкой (*наденьте защитные очки!*).

Оставшийся осадок гидроксида кобальта(+2) оставьте на воздухе до окончания занятия. Отметьте, произошло ли изменение его цвета.

Гидроксид кобальта(+3)

В две пробирки налейте раствор соли кобальта(+2). В одну из них добавьте бромной воды, затем прилейте по каплям 10%-й раствор гидроксида натрия. В другую пробирку прилейте 3%-й раствор пероксида водорода и добавьте по каплям 10%-й раствор гидроксида натрия.

Испытайте действие на полученный осадок гидроксида кобальта(+3) концентрированной соляной кислоты, 10%-й азотной кислоты, концентрированного раствора аммиака.

Оксид кобальта(+2, +3)

Поместите в фарфоровый тигель 0,5–0,7 г гексагидрата нитрата кобальта(+2) и прокалите в пламени газовой горелки.

Небольшие количества полученного оксида кобальта(+2, +3) поместите в две пробирки. Вещество в первой пробирке обработайте концентрированной соляной кислотой, а во вторую пробирку добавьте 10%-й раствор азотной кислоты.

Гидроксид никеля(+2)

Получите осадок гидроксида никеля(+2) действием 10%-го раствора гидроксида натрия на 2–3 мл раствора соли никеля(+2). Разделите осадок на части и испытайте действие на гидроксид никеля(+2) 10%-го раствора соляной кислоты, 10%-го раствора гидроксида натрия, концентрированного раствора аммиака.

Оставшуюся часть осадка оставьте на воздухе до окончания занятия. Отметьте, произошло ли изменение его цвета.

Гидроксид никеля(+3)

Получите гидроксид никеля(+2) в пробирке, затем добавьте к нему несколько капель бромной воды и перемешайте. Возьмите пробы полученного осадка вместе с раствором и поместите в две пробирки.

Подействуйте на осадок в первой пробирке концентрированным раствором соляной кислоты, а на осадок во второй пробирке — 10%-м раствором азотной кислоты.

- Чем объясняется разное отношение гидроксидов железа(+2), кобальта(+2), никеля(+2) к кислороду воздуха?
- Почему способ получения гидроксидов кобальта(+3) и никеля(+3) отличается от способа получения гидроксида железа(+3)?

26.3. Соли железа

Соли железа(+2)

Приготовьте 20–25 мл 1 М раствора соли Мора в прокипяченной воде. С помощью универсальной индикаторной бумаги определите pH раствора.

Налейте по 2–3 мл полученного раствора в три пробирки. В одну из пробирок прилейте прокипяченный и охлажденный до комнатной температуры раствор карбоната натрия. Оставьте осадок на воздухе. В другую пробирку добавьте раствор гексацианоферрата(+3) калия, в третью — свежеприготовленный раствор сульфида аммония.

Испытайте отношение подкисленного серной кислотой раствора соли Мора к растворам перманганата калия и дихромата калия, хлорной, бромной и иодной воде.

- Почему при изучении свойств соединений железа(+2) в качестве исходного вещества следует брать свежеприготовленный раствор соли Мора?

Соли железа(+3)

С помощью универсальной индикаторной бумаги определите pH раствора хлорида железа(+3).

Испытайте отношение раствора хлорида железа(+3) к растворам карбоната натрия, роданида аммония, гексацианоферрата(+2) калия, сульфида аммония, иодида калия.

- Какие соли сильнее гидролизуются в растворах — железа(+2) или железа(+3)?

Ферраты(+6)

Способ 1

Поместите в пробирку 0,5 г твердого гидроксида калия (*наденьте защитные очки!*), добавьте 1–2 мл концентрированного

раствора хлорида железа(+3) и охладите получившийся раствор. Затем прилейте к нему 2–3 капли жидкого брома (*в вытяжном шкафу, в защитных очках и перчатках!*). Нагрейте пробирку в стакане с горячей водой до удаления избыточного брома, затем охладите до комнатной температуры и добавьте 6–7 мл воды.

Способ 2

К 1–2 мл насыщенного раствора нитрата железа(+3) в пробирке добавьте по каплям 10%-й раствор гидроксида натрия до полного осаждения гидроксида железа(+3). Декантируйте раствор и добавьте к осадку небольшой избыток предварительно приготовленного щелочного раствора гипохлорита натрия. Нагрейте полученную смесь на водяной бане до полного растворения осадка.

Испытайте действие на полученный раствор феррата(+6) растворов хлорида бария, сульфида натрия, 20%-го раствора серной кислоты, концентрированной соляной кислоты.

- Какие свойства проявляет феррат(+6) в этих опытах?

26.4. Соли кобальта(+2) и никеля(+2)

Поместите в пробирку 1 мл насыщенного раствора хлорида кобальта и затем прилейте в пробирку концентрированную соляную кислоту. Отметьте изменение окраски раствора.

К растворам солей кобальта(+2) и никеля(+2) добавьте сероводородную воду. Повторите опыт с раствором сульфида аммония.

Прилейте к растворам солей кобальта(+2) и никеля(+2) раствор карбоната натрия. Отметьте цвета выпадающих осадков.

- Осаждаются ли сульфиды кобальта и никеля сероводородом? Выпишите значения произведений растворимости этих сульфидов.

26.5. Комплексные соединения кобальта и никеля

Аммиакаты кобальта и никеля

К растворам солей кобальта(+2) и никеля(+2) прилейте сначала немного, а затем избыток концентрированного раствора аммиака. К полученным растворам аммиакатов добавьте насыщенный раствор иодида калия. Объясните наблюдаемые явления.

Получите в пробирке аммиакат кобальта(+2) и прокипятите его, осторожно встряхивая пробирку. Отметьте, происходит ли при этом изменение окраски раствора.

- Каковы координационные числа и электронные конфигурации кобальта и никеля в полученных аммиакатах?
- К какому типу комплексов (низко- или высокоспиновых) они относятся?

Гексанитрокобальтат(+3) калия

К раствору соли кобальта(+2) в пробирке прилейте немного уксусной кислоты и избыток раствора нитрита калия (*в вытяжном шкафу!*). Смесь подогрейте.

- Каким из атомов нитрит-ион координируется к атому кобальта?

26.6. Синтезы по теме «Железо, кобальт, никель»

26.6.1. Оксид железа(+2)

К 20 мл насыщенного раствора соли Мора в стакане прилейте раствор оксалата аммония до полного осаждения оксалата железа(+2). Для приготовления растворов используйте предварительно прокипяченную дистиллированную воду. Осадок промойте несколько раз водой путем декантации, затем отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим

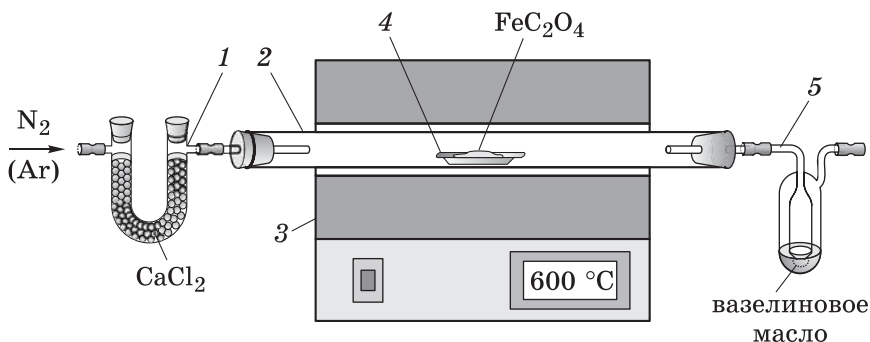


Рис. 26.1. Прибор для получения оксида железа(+2):

1 — U-образная трубка с безводным хлористым кальцием; 2 — кварцевая реакционная трубка; 3 — печь; 4 — фарфоровая лодочка; 5 — промывалка—счетчик пузырьков с вазелиновым маслом

дном, промойте на фильтре водой и высушите в сушильном шкафу при 100 °С.

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 26.1.

Фарфоровую лодочку 4 с оксалатом железа(+2) поместите по центру печи в реакционной трубке 2 и прокалите при 500–600 °С в токе азота или аргона из кислородной подушки. После завершения реакции охладите реакционную трубку до комнатной температуры при непрерывном пропускании азота (аргона). Полученное вещество высыпьте в пробирку, заполненную аргоном, закройте пробкой.

26.6.2. Соль Мора

Поместите 1 г порошка железа или мелко нарезанной железной проволоки в коническую колбу. Добавьте в колбу двукратный избыток (относительно рассчитанного по уравнению реакции) 20%-го раствора серной кислоты и закройте ее пробкой с клапаном Бунзена. Растворите проволоку в кислоте при нагревании.

После завершения реакции добавьте в раствор эквимольное количество горячего насыщенного раствора сульфата аммония. Полученный раствор перелейте в фарфоровую чашку и выпаривайте на водяной бане до начала кристаллизации.

Охладите раствор и отфильтруйте выпавшие кристаллы при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, промойте кристаллы небольшим количеством предварительно прокипяченной и охлажденной воды и высушите их на фильтровальной бумаге.

26.6.3. Безводный хлорид железа(+3)

Для получения безводного хлорида железа используйте методику 12.4.3 (Безводный хлорид алюминия).

Небольшое количество полученного хлорида железа(+3) растворите в воде и определите pH среды с помощью универсального индикатора.

26.6.4. Хлорид железа(+2)

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 26.2. В колбу Вюрца 1 поместите 30 г хлорида натрия

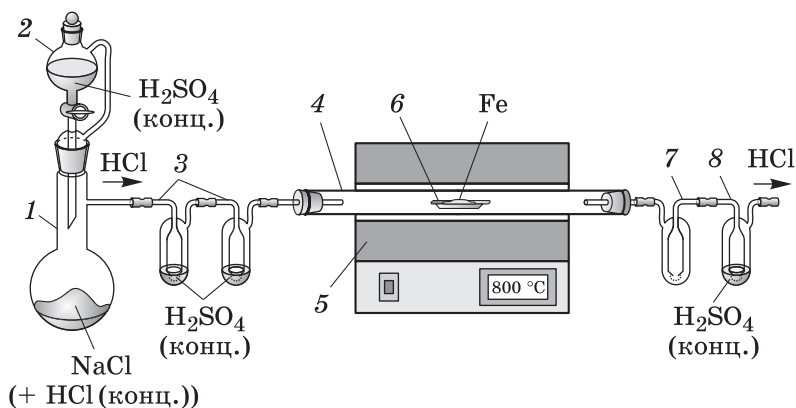


Рис. 26.2. Прибор для получения хлорида железа(+2):

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3, 8 — промывалки с концентрированной серной кислотой; 4 — кварцевая реакционная трубка; 5 — печь; 6 — фарфоровая лодочка, 7 — предохранительная (обратная) промывалка

и смочите концентрированной соляной кислотой. В кварцевую реакционную трубку 4 поместите фарфоровую лодочку 6 с 0,5 г железной проволоки.

Установите ровный ток хлороводорода, постепенно добавляя концентрированную серную кислоту из капельной воронки 2 в колбу Вюрца 1. Разогрейте печь до 800–850 °С. Хлороводород пропускайте при этой температуре в течение 1 ч, затем охладите реакционную трубку до комнатной температуры в токе хлороводорода.

26.6.5. Триоксالاتоферрат(+3) калия

Приготовьте в одном стакане раствор 6 г моногидрата оксалата калия в 20 мл горячей дистиллированной воды (*не кипятите!*), в другом — раствор 3 г гексагидрата хлорида железа(+3) в минимальном количестве холодной воды (6–10 мл).

Раствор хлорида железа вылейте в теплый раствор оксалата калия и перемешайте. Охладите полученный раствор в бане со льдом. Для получения крупных кристаллов можно оставить раствор на неделю в темном месте, накрыв стакан часовым стеклом.

Выпавшие кристаллы отделите при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, промойте на фильтре 10 мл ацетона. Полученное вещество высушите на воздухе.

Оставьте несколько кристаллов на некоторое время на свету. Отметьте изменение их окраски.

- Почему кристаллы триоксалаатоферрата(+3) калия не рекомендуется запаивать в ампулу?

26.6.6. Ацетилацетонат железа(+3)

Растворите в стакане 3 г гексагидрата хлорида железа(+3) в 3 мл дистиллированной воды и добавьте к полученному раствору стехиометрическое количество ацетилацетона (плотность 0,976 г/мл). Установите стакан с полученной смесью на магнитную мешалку.

Закрепите в лапке штатива над стаканом капельную воронку и налейте в нее насыщенный раствор ацетата натрия. При постоянном перемешивании добавляйте по каплям раствор ацетата натрия в стакан до полного выпадения осадка.

Отфильтруйте выпавший осадок при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, промойте его 10 мл холодной воды. Перенесите полученное вещество на фильтровальную бумагу и просушите.

Растворите высушенное вещество в ~15 мл хлороформа (бензола) и быстро профильтруйте раствор через бумажный фильтр. Фильтрат поместите в фарфоровую чашку (или большую пробирку). Оставьте чашку (пробирку) на воздухе для испарения растворителя. Рассмотрите под микроскопом образовавшиеся темно-красные кристаллы.

26.6.7. Гексанитрокобальтат(+3) натрия

Растворите в конической колбе 15 г нитрита натрия в 20 мл воды при нагревании. После охлаждения раствора до 50–60 °С добавьте 5 г гексагидрата нитрата кобальта(+2) и прилейте небольшими порциями при перемешивании 5 мл 50%-го раствора уксусной кислоты.

Охладите раствор до комнатной температуры. Пропустите через охлажденный раствор ток воздуха в течение 30 мин или более. Полученный раствор профильтруйте на воронке с бумажным фильтром.

Прилейте к фильтрату 30 мл этилового спирта. Раствор оставьте на несколько часов для кристаллизации. Выпавший осадок отделите при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, промойте спиртом и высушите на воздухе. Рассмотрите кристаллы под микроскопом.

26.6.8. Хлорид гексаамминкобальта(+3)

Перед началом синтеза выдержите растертый древесный уголь в сушильном шкафу при 200 °С в течение 1 ч.

Приготовьте в стакане раствор 3 г дигидрата хлорида кобальта(+2) и 3 г хлорида аммония в 5 мл воды. Добавьте 0,25 г высушенного угля и 25 мл 25%-го раствора аммиака.

В полученную смесь прилейте маленькими порциями 30%-й раствор пероксида водорода до прекращения выпадения оранжево-желтого осадка. Осадок вместе с активированным углем отфильтруйте на воронке с бумажным фильтром и промойте небольшими порциями холодной воды.

Воронку с осадком хлорида гексаамминкобальта(+3) на фильтре установите на разогретой воронке для горячего фильтрования. Растворите хлорид гексаамминкобальта(+3) на фильтре минимальными порциями нагретой до кипения 1%-й соляной кислоты. Фильтрат соберите в стакан и охладите в бане со льдом. Выпавшие кристаллы отделите при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, промойте последовательно водой, охлажденной в бане со льдом, этиловым спиртом, затем высушите на воздухе.

26.6.9. Хлорид пентаамминхлорокобальта(+3)

Растворите 2,5 г дигидрата хлорида кобальта(+2) в 25 мл концентрированного раствора аммиака и добавьте 20 г хлорида аммония. К полученной смеси прибавьте рассчитанное количество пероксида водорода.

Перенесите раствор с осадком в стакан и при непрерывном перемешивании прилейте небольшими порциями 10%-й раствор соляной кислоты (до кислой реакции). Кислый раствор нейтрализуйте 10%-м раствором аммиака до нейтральной реакции, а затем добавьте еще 2–3 мл.

Поместите стакан в водяную баню и нагревайте в течение 1 ч, а затем прилейте 35 мл концентрированной соляной кислоты и продолжите нагревание в течение еще 40 мин.

Выпавшие после охлаждения кристаллы отфильтруйте на воронке со стеклянным фильтрующим дном при пониженном давлении, промойте 10%-м раствором соляной кислоты, этиловым спиртом (~5 мл) и высушите на воздухе.

- Чем вызваны изменения окраски раствора в ходе выполнения работы?

26.6.10. Триоксалатокобальтат(+3) калия

Приготовьте в стакане объемом 250 мл раствор 4 г гексагидрата нитрата кобальта(+2) в 20 мл воды и добавьте к нему при перемешивании раствор 2,5 г моногидрата оксалата калия в 20 мл воды. Промойте выпавший розовый осадок оксалата кобальта(+2) водой методом декантации, затем добавьте в стакан с осадком 30 мл воды. При перемешивании и слабом нагревании (*не выше 40 °C!*) добавляйте небольшими порциями твердый моногидрат оксалата калия к полученной взвеси оксалата кобальта в воде до полного ее растворения и образования насыщенно-бордового раствора триоксалатокобальтата(+2) калия.

Добавьте к полученному раствору по каплям и при постоянном перемешивании 30%-й раствор пероксида водорода до приобретения раствором темно-фиолетовой (почти черной) окраски (*возможно вспенивание, наденьте защитные очки и перчатки!*). После этого перемешивание прекратите, установите стакан с раствором в чистый кристаллизатор и дождитесь окончания выделения газа (*осторожно, возможно резкое вспенивание!*).

Полученный темно-зеленый раствор перелейте в фарфоровую чашку и оставьте до образования кристаллов. Выпавшие кристаллы отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном.

26.6.11. Сульфат декаамминсупероксодикобальта(+3), $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5(\text{O}_2)\text{Co}(\text{NH}_3)_5(\text{SO}_4)_2(\text{HSO}_4)] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

В стакане объемом 150–250 мл растворите 1,3 г сульфата аммония в 30 мл воды, добавьте к полученному раствору 20 мл концентрированного раствора аммиака. Приготовьте во втором стакане раствор 2,8 г гептагидрата сульфата кобальта(+2) в 10 мл воды, в третьем стакане — раствор 2,3 г пероксодисульфата аммония (или 2,8 г пероксодисульфата калия) в 10 мл воды.

❗ Проверьте пригодность используемого в синтезе пероксодисульфата аммония (или калия)! Для этого убедитесь, что реактив полностью растворяется в воде и взаимодействует с раствором иодида калия.

Прилейте в стакан с аммиачным раствором сульфата аммония раствор сульфата кобальта(+2) и тщательно перемешайте. Добавьте к смеси, продолжая перемешивание, сначала 10 мл 3%-го

раствора пероксида водорода, а затем раствор пероксодисульфата аммония (калия).

Через 10–15 мин отфильтруйте на воронке Бюхнера выпавший темно-зеленый кристаллический осадок. Промойте осадок несколько раз небольшим количеством 10%-го раствора аммиака (10–15 мл), затем высушите его на фильтровальной бумаге. Для перекристаллизации растворите полученное вещество в 30 мл 10%-й серной кислоты при нагревании до 80–85 °C (*при более высокой температуре возможно разложение!*) и оставьте раствор охлаждаться при комнатной температуре.

Выпавшие игольчатые кристаллы сульфата биядерного аммин-надпероксидного комплекса кобальта(+3) отделите на воронке Бюхнера, высушите на фильтровальной бумаге и поместите в пробирку.

! Пробирку с кристаллами сульфата декаамин-супероксо-ди-кобальта(+2) не запаивайте!

26.6.12. Получение алюмокобальтовой шпинели

Небольшое количество (0,5–1 г) свежееосажденного гидроксида алюминия тщательно промойте водой и осторожно прогрейте в пламени горелки в фарфоровой лодочке для удаления воды. Прибавьте к осадку несколько капель 5%-го раствора нитрата кобальта и прокалите в верхней (высокотемпературной) части пламени газовой горелки.

26.6.13. Гексагидрат сульфата аммония и никеля (аналог соли Мора)

Прибавьте насыщенный раствор 2,5 г гептагидрата сульфата никеля к насыщенному раствору стехиометрического количества сульфата аммония в стакане и нагрейте смесь до кипения. Раствор охладите вначале на воздухе, а затем в бане со льдом и водой. Кристаллическое вещество отделите при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, промойте холодной водой и спиртом, затем высушите на воздухе.

26.6.14. Бромид (иодид) гексаамминникеля(+2)

Приготовьте в стакане раствор 2,5 г гексагидрата нитрата никеля в минимальном объеме воды и добавьте такое количество 25%-го раствора аммиака, чтобы выпавший при добавлении

первых порций аммиака осадок полностью растворился. Добавьте насыщенный при 25–30 °С раствор бромида (иодида) калия и 10%-й раствор аммиака до полного осаждения бромида (иодида) гексаамминникеля(+2).

Выпавший осадок отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном и промойте этанолом. Высушите полученный препарат при температуре не выше 100 °С.

26.6.15. Молибдоникелат(+4) аммония, $(\text{NH}_4)_6[\text{NiMo}_9\text{O}_{32}] \cdot 6,5\text{H}_2\text{O}$

Приготовьте в стакане раствор, содержащий 1 г гептагидрата сульфата никеля и эквимольное количество пероксодисульфата аммония (калия). В другой стакан поместите рассчитанное по уравнению реакции количество 10%-го раствора гептамолибдата аммония. Нагрейте стакан с раствором гептамолибдата аммония на магнитной мешалке до 95 °С, а затем прибавьте к нему по каплям раствор сульфата никеля и пероксодисульфата аммония (калия) (*температура реакционной смеси при этом не должна снижаться!*). Прокипятите полученный раствор в течение 5 мин при интенсивном перемешивании, затем охладите до комнатной температуры на воздухе. Осадок отделите при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, затем высушите на фильтровальной бумаге. Рассмотрите полученные кристаллы под микроскопом.

26.7. Практикум повышенной сложности по теме «Железо, кобальт, никель»

26.7.1. Дибромид железа

! Работать с бромом можно только в вытяжном шкафу, в перчатках и защитных очках!

Для проведения синтеза воспользуйтесь методикой, изложенной в разделе 24.3.2, собрав в вытяжном шкафу прибор (см. рис. 24.2 на с. 292). В реакционную трубку 8 поместите 2 г тонкой железной проволоки, свернутой в клубок. Бромирование ведите 1 ч при 600 °С.

Полученное вещество быстро перенесите в токе аргона во взвешенную пробирку, заполненную аргоном. Запаяйте полученное вещество в пламени кислородной горелки.

26.7.2. Хлорид кобальта(+2) (получение из оксида кобальта(+2, +3))

Для проведения синтеза воспользуйтесь методикой, приведенной в разделе 23.5.1, собрав в вытяжном шкафу прибор (см. рис. 23.7 на с. 282). Взвесьте 1 г оксида кобальта(+2, +3), тщательно перетрите с полуторакратным (по уравнению реакции) количеством древесного угля и поместите в фарфоровую лодочку 11. Хлорирование проводите при 850 °С в течение 1 ч.

Полученное вещество быстро перенесите из реакционной трубки во взвешенную пробирку с перетяжкой, заполненную аргоном. Запаяйте полученное вещество в пламени кислородной горелки.

26.7.3. Хлорид кобальта(+2) (гидрохлорирование)

Для получения безводного хлорида кобальта(+2) воспользуйтесь методикой, приведенной в разделе 25.8.2 (см. также рис. 25.2 на с. 301).

После десольватации в вакууме образуется ярко-голубой хлорид кобальта(+2). Взвесьте пустую пробирку с перетяжкой, заполните пробирку аргоном и быстро перенесите в нее безводный хлорид кобальта(+2).

Запаяйте пробирку с полученным веществом в пламени кислородной горелки.

26.7.4. Хлорид гексаамминкобальта(+2)

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 26.3. Заполните колбу 1 на $\frac{1}{3}$ гранулированным гидроксидом натрия. В капельную воронку 2 налейте концентрированный раствор аммиака. Поместите во взвешенную фарфоровую лодочку ~0,1 г безводного хлорида кобальта(+2), полученного по изложенной в разделе 26.7.2 методике.

Осторожно приоткройте кран капельной воронки 2 и, по каплям добавляя концентрированный раствор аммиака к твердому гидроксиду натрия, установите ровный ток газообразного амми-

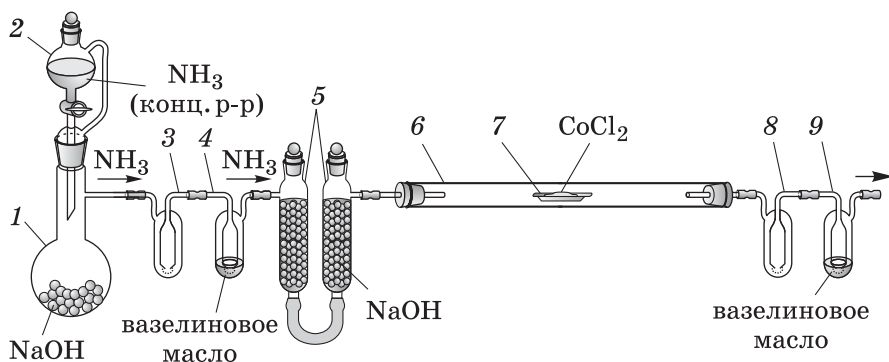


Рис. 26.3. Прибор для получения хлорида гексаамминкобальта(+2):
 1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3, 8 — предохранительные (обратные) промывалки; 4, 9 — счетчики пузырьков; 5 — осушительные колонки с гранулированным гидроксидом натрия; 6 — реакционная трубка, 7 — лодочка с веществом

ака (через промывалку с вазелиновым маслом 9 должно проходить 1–2 пузырька в 1 с). Пропускайте аммиак при комнатной температуре до прекращения увеличения объема вещества в лодочке, после чего извлеките лодочку из реактора и взвесьте. Затем снова поместите лодочку в реактор, пропускайте аммиак еще 10 мин, после чего лодочку извлеките и еще раз взвесьте. Опыт продолжайте до достижения постоянной массы вещества (два последовательных взвешивания должны различаться не более чем на 0,02 г). Полученное вещество перенесите во взвешенную пробирку. Докажите, что получен хлорид гексаамминкобальта(+2).

27. МЕДЬ, СЕРЕБРО

27.1. Получение и свойства меди

Приготовьте в стакане 5–7 мл насыщенного при комнатной температуре раствора сульфата меди. Добавьте рассчитанное количество порошка цинка. Для увеличения скорости взаимодействия нагрейте реакционную смесь. После завершения реакции отделите осадок от раствора и промойте его 5%-м раствором соляной кислоты. Полученную медь дважды промойте водой и высушите на фильтровальной бумаге. Напишите уравнения реакций.

1. Испытайте действие на порошок меди разбавленных (1 М) и концентрированных кислот: серной и азотной — при комнатной температуре и нагревании.

2. Подействуйте на порошок меди концентрированным раствором гидроксида натрия.

3. Поместите немного порошка меди в стакан с 10–15 мл концентрированного раствора аммиака и пропустите ток воздуха.

- Используя величины стандартных электродных потенциалов, объясните, почему медь растворяется в растворе аммиака при пропускании через него воздуха.

27.2. Соединения меди(+1)

Оксид меди(+1)

В пробирку с 3–5 мл 10%-го раствора сульфата меди прилейте в небольшом избытке 20%-й раствор гидроксида натрия, затем добавьте избыток глюкозы и перемешайте. Смесь осторожно нагрейте до завершения реакции восстановления. Полученный оксид меди(+1) несколько раз промойте водой.

1. Испытайте действие на оксид меди(+1) разбавленной (1 М) и концентрированной серной кислоты при комнатной температуре и нагревании.

2. Добавьте в пробирку с оксидом меди(+1) концентрированный раствор аммиака. Полученный раствор оставьте на воздухе до окончания занятия. Отметьте наблюдаемые изменения.

3. В пробирку с оксидом меди(+1) добавляйте по каплям концентрированную соляную кислоту до полного растворения осадка. Отметьте цвет раствора. Установите пробирку в стакане с холодной водой и добавляйте по каплям 20%-й раствор гидроксида натрия до выпадения осадка. Затем раствор с осадком нагрейте. Отметьте изменение цвета осадка при нагревании.

Галогениды меди(+1)

Хлорид меди(+1). Растворите 1 г дигидрата хлорида меди(+2) в 15 мл воды, добавьте в раствор 2 мл концентрированной соляной кислоты и 1,5 г меди. Нагрейте реакционную смесь. После завершения реакции (капля раствора при добавлении к 5–6 мл воды в пробирке не дает голубого окрашивания) перелейте раствор в стакан с 50 мл холодной воды. Выпавший осадок отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном и промойте водой.

Бромид меди(+1). Растворите 1 г бромид меди(+2) в 15 мл воды. Полученный раствор подкислите серной кислотой и добавьте раствор сульфата натрия до прекращения выпадения осадка. Осадок отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном и промойте водой.

Иодид меди(+1). Приготовьте в двух пробирках по 5 мл растворов, содержащих эквивалентные количества иодида калия и сульфата меди(+2) соответственно. Полученные растворы слейте, подкислите серной кислотой и добавьте раствор сульфата натрия для удаления свободного иода. Осадок отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном и промойте водой. Поместите небольшое количество иодида меди(+1) в пробирку и осторожно нагрейте слабым пламенем газовой горелки.

Небольшие количества галогенидов меди(+1) поместите в пробирки и испытайте действие на них концентрированной соляной кислоты, растворов соответствующих галогенидов калия или натрия, раствора гидроксида натрия, концентрированного раствора аммиака. Небольшие количества галогенидов меди(+1) в пробирках оставьте на воздухе до окончания занятия и отметьте наблюдаемые изменения.

- Какое координационное число характерно для комплексных соединений меди(+1)?

27.3. Соединения меди(+2)

Оксид меди(+2)

Нагрейте в водяной бане до 85–90 °С пробирки с 3–4 мл 5%-го раствора гидроксида натрия и раствора с эквивалентным количеством сульфата меди(+2), затем горячий раствор сульфата меди вылейте в пробирку с гидроксидом натрия. Реакционную смесь нагревайте на водяной бане в течение 10 мин. Полученный осадок промойте водой методом декантации.

Испытайте действие на осадок оксида меди(+2) 10%-го раствора соляной кислоты, концентрированного раствора гидроксида натрия (при комнатной температуре и нагревании), глицерина, концентрированного раствора аммиака.

Гидроксид меди(+2)

К 3–4 мл раствора сульфата меди осторожно при перемешивании добавьте 2%-й раствор гидроксида натрия.

Испытайте действие на осадок гидроксида меди(+2) 10%-го раствора соляной кислоты, 20%-го раствора гидроксида натрия (при комнатной температуре и при нагревании), глицерина, концентрированного раствора аммиака. Отметьте окраску полученных растворов.

Соли меди(+2)

1. Налейте в пробирку 1–2 мл раствора сульфата меди(+2) и добавьте свежеприготовленный раствор сульфида аммония. Отметьте окраску выпадающего осадка.

2. Добавьте к 3–4 мл раствора сульфата меди(+2) концентрированный раствор аммиака, сначала немного, затем избыток. Отметьте происходящие изменения. Налейте по 1–2 мл полученного раствора сульфата тетраамминмеди(+2) в две пробирки. Подействуйте на раствор в первой пробирке 1 М раствором гидроксида натрия, во вторую пробирку прилейте раствор сульфида аммония.

3. Налейте в пробирку 1–2 мл раствора сульфата меди(+2) и по каплям добавьте раствор карбоната калия. Отметьте окраску выпадающего осадка.

4. К 2 мл охлажденного насыщенного раствора карбоната калия по каплям при перемешивании добавьте раствор сульфата меди(+2). Отметьте окраску раствора дикарбонатокупрата(+2) калия.

5. К 1 мл охлажденного 20%-го раствора гидроксида калия по каплям при перемешивании добавьте раствор сульфата меди(+2). Отметьте окраску раствора тетрагидроксокупрата(+2) калия.

6. Поместите в фарфоровые тигли по 0,1–0,2 г кристаллогидратов нитрата меди(+2), сульфата меди(+2) и хлорида меди(+2), затем прокалите в пламени газовой горелки.

27.4. Получение и свойства серебра

Две предварительно очищенные медные проволоки поместите в пробирку с 2–3 мл 0,01 М раствора нитрата серебра и выдержите до образования слоя серебра.

1. Первую посеребренную проволоку опустите в пробирку с 1–2 мл концентрированной азотной кислоты.

2. Вторую проволоку поместите в пробирку с 1–2 мл раствора сероводородной воды.

27.5. Соединения серебра

Оксид серебра(+1)

Прилейте 1 мл 0,1 М раствора гидроксида натрия в пробирку, содержащую 1 мл раствора нитрата серебра. Отметьте цвет осадка. Испытайте действие на полученный осадок концентрированного раствора аммиака.

Оксид серебра(+1, +3)

Налейте в пробирку 2–3 мл 10%-го раствора гидроксида калия, добавьте 0,5 г пероксодисульфата калия и 1–2 капли насыщенного раствора нитрата серебра. Содержимое пробирки тщательно перемешайте и поместите на 10 мин в стакан с водой, нагретой до 85–90 °С. Осадок промойте водой методом декантации. Отметьте цвет осадка.

Испытайте действие на осадок диоксидсеребра концентрированной соляной кислоты, 20%-й серной кислоты, раствора иодида калия, подкисленного серной кислотой.

К пробе осадка прилейте 3–5 мл воды и по каплям добавьте раствор нитрата марганца(+2), подкисленного азотной кислотой. Отметьте изменение окраски раствора.

Галогениды серебра

Налейте в три пробирки по 1–2 мл разбавленного раствора нитрата серебра. Добавьте в первую пробирку по каплям раствор хлорида натрия, во вторую — раствор бромиды калия, в третью — раствор иодида калия до полного осаждения галогенидов серебра. Отметьте цвета осадков.

Отберите пробы осадков хлорида, бромиды и иодида серебра и испытайте их отношение к концентрированному раствору аммиака (содержимое пробирок тщательно перемешивайте). Отметьте, какие галогениды серебра растворяются в аммиаке. В пробирку, где растворение прошло полностью, добавьте немного 1 М раствора азотной кислоты.

В другие три пробирки с осадками хлорида, бромида и иодида серебра добавьте раствор тиосульфата натрия до полного растворения осадков, затем один из полученных растворов нагрейте.

Испытайте также отношение осадков галогенидов серебра к избытку концентрированного раствора соляной кислоты.

Объясните наблюдаемые явления.

- На основании справочных данных (см. Приложение 2) и констант устойчивости комплексных соединений серебра сделайте вывод о возможности растворения галогенидов серебра в растворах аммиака и тиосульфата натрия.

27.6. Серебрение

Растворите 0,25 г нитрата серебра в 4 мл воды и осторожно, по каплям прибавьте концентрированный раствор аммиака до растворения выделившегося осадка. Прилейте 9 мл 3%-го раствора гидроксида натрия, а затем снова раствор аммиака до получения прозрачного раствора. Доведите объем раствора до 20 мл, добавляя воду.

Растворите 0,4 г глюкозы в 8 мл воды, добавьте 1 каплю концентрированной азотной кислоты и кипятите смесь 2 мин. Раствор охладите и добавьте к нему равный объем этилового спирта.

Смешайте аммиачный раствор оксида серебра с раствором глюкозы в соотношении 10:1. Налейте в чистую (новую или тщательно промытую) пробирку 4–5 мл реакционной смеси и нагревайте в стакане с водой при 50–60 °С до получения плотного зеркального покрытия на внутренней поверхности пробирки.

Напишите уравнения всех реакций и объясните наблюдаемые явления.

- С какой целью добавляют азотную кислоту при кипячении раствора глюкозы?

27.7. Синтезы по теме «Медь»

27.7.1. Гексагидрат двойного сульфата аммония и меди (аналог соли Мора)

Приготовьте при нагревании в стакане раствор 3 г пентагидрата сульфата меди в 6 мл воды и прибавьте насыщенный при 60 °С раствор эквимольного количества сульфата аммония.

Охладите полученный раствор в бане со льдом и водой. Выпавшие кристаллы отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, затем высушите на фильтровальной бумаге и взвесьте. Полученные кристаллы рассмотрите под микроскопом.

27.7.2. Ацетилацетонат меди(+2)

Приготовьте в стакане раствор 3 г пентагидрата сульфата меди(+2) в 10 мл воды. Добавьте стехиометрическое количество ацетилацетона (плотность ацетилацетона 0,976 г/мл). Установите стакан с полученной смесью на магнитную мешалку.

Закрепите в лапке штатива над стаканом капельную воронку и налейте в нее насыщенный раствор карбоната натрия. При постоянном перемешивании добавляйте в стакан по каплям раствор карбоната натрия до выпадения осадка.

Выпавший осадок отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, промойте 10 мл холодной воды, затем перенесите на фильтровальную бумагу и высушите. Высушенное вещество растворите в хлороформе и профильтруйте полученный раствор на воронке с бумажным фильтром.

Фильтрат поместите в фарфоровую чашку и оставьте ее на воздухе до полного испарения растворителя.

27.7.3. Бисоксалатocupрат(+2) калия

Нагрейте в стакане раствор 2,5 г пентагидрата сульфата меди в 10 мл воды до 90 °С. При интенсивном перемешивании быстро добавьте нагретый до 90 °С раствор, содержащий 7,4 г моногидрата оксалата калия в 20 мл воды. Полученную смесь охладите до 10 °С. Осадок отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном и промойте на фильтре холодной водой. Вещество высушите на фильтровальной бумаге. Рассмотрите полученные кристаллы под микроскопом.

27.7.4. Сульфат тетраамминдиаквамеди(+2)

Растворите 1 г мелкорастертого пентагидрата сульфата меди(+2) в 12,5 мл 15%-го раствора аммиака. Профильтруйте полученный раствор на воронке с бумажным фильтром для удаления нераство-

римых примесей. К фильтрату добавьте 7,5 мл этанола и оставьте кристаллизоваться. Выпавшие кристаллы отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, промойте смесью этанола и концентрированного раствора аммиака (1 : 1), затем высушите на фильтровальной бумаге.

27.7.5. Дигидрат хлорида меди(+2)

Растворите при нагревании 6 г порошка оксида меди(+2) в 50 мл 24%-й соляной кислоты. Полученный раствор перелейте в фарфоровую чашку и поместите на водяную баню для удаления растворенного хлороводорода и выпаривания раствора. Для ускорения выпаривания поверхность раствора рекомендуется обдувать струей воздуха. Выпаривание можно завершить только после удаления всего растворенного хлороводорода и появления на поверхности темно-зеленого раствора тонкой кристаллической пленки.

Полученный раствор охладите вначале на воздухе, затем в бане со льдом. Выпавшие кристаллы отделите при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, затем высушите на фильтровальной бумаге.

27.7.6. Периодатocupрат(+3) натрия, $\text{Na}_5[\text{Cu}(\text{HIO}_6)_2]$

Растворите в стакане на 100 мл 2,2 г пентагидрата сульфата меди в 30 мл воды. Добавьте 4,3 г растертого периодата калия KIO_4 , раствор 2,9 г твердого гидроксида калия в 20 мл воды (*раствор щелочи готовьте в вытяжном шкафу, в очках и перчатках!*), затем внесите в стакан 1,1 г пероксодисульфата калия.

Установите стакан на магнитную мешалку с подогревом и доведите раствор до кипения при постоянном перемешивании. Продолжайте кипятить раствор до приобретения им насыщенного темно-красного цвета. Затем добавьте 0,15 г пероксодисульфата калия и кипятите еще 10–15 мин.

Отфильтруйте раствор при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном от взвеси зеленых периодатов меди(+2), затем перенесите фильтрат в стакан на 250 мл и добавьте воды до объема ~200 мл. Установите стакан с полученным раствором на магнитную мешалку, нагрейте до ~80 °C и при перемешивании внесите в него небольшими порциями горячий раствор, приготовленный из 2,1 г твердого гидроксида натрия и 15–20 мл воды.

Снимите стакан с магнитной мешалки, охладите его сначала на воздухе, затем в ледяной бане. Отделите выпавшие темно-красные игольчатые кристаллы на воронке со стеклянным фильтрующим дном при пониженном давлении, промойте их 10 мл 1%-го раствора гидроксида натрия и 10 мл охлажденной воды.

27.8. Практикум повышенной сложности по теме «Медь»

27.8.1. Безводный хлорид меди(+2)

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 27.1, а. В колбу 2 поместите 2 г дигидрата хлорида меди(+2) и прилейте 20 мл хлорида тионила. Свободную горловину колбы закройте стеклянной пробкой 3.

Подайте воду в холодильник. Нагрейте содержимое колбы и кипятите смесь 1–1,5 ч. Признаком окончания реакции служит равномерное окрашивание осадка в коричневый цвет.

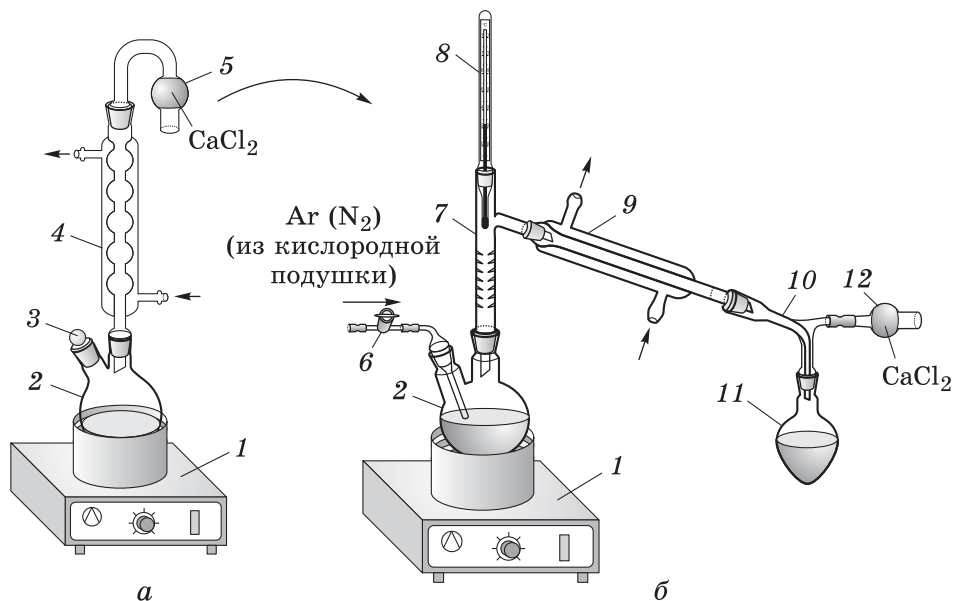


Рис. 27.1. Прибор для получения безводного хлорида меди(+2):

а — дегидратация; б — отгонка избытка хлорида тионила.

1 — колбонагреватель; 2 — колба двугорлая; 3 — пробка стеклянная; 4 — холодильник шариковый; 5, 12 — хлоркальциевые трубки с безводным хлоридом кальция; 6 — подводящая трубка с краном; 7 — дефлегматор; 8 — термометр; 9 — холодильник; 10 — аллонж; 11 — колба-приемник

После завершения дегидратации и охлаждения содержимого колбы до комнатной температуры присоедините колбу 2 к прибору для отгонки растворителя (рис. 27.1, б). Отгоните избыток хлорида тионила. Затем продуйте колбу током сухого аргона или азота из кислородной подушки через трубку 6 при легком (~40 °C) нагревании колбы. Сухое вещество перенесите в пробирку, заполненную аргоном, и закройте пробкой.

28. ЦИНК, КАДМИЙ, РТУТЬ

28.1. Соединения цинка и кадмия

Оксиды цинка и кадмия

Поместите в два фарфоровых тигля по несколько кристаллов гексагидрата нитрата цинка и моногидрата нитрата кадмия. Сначала осторожно нагрейте тигли, а затем прокалите. Отметьте цвет получившихся оксидов.

Гидроксиды цинка и кадмия

Налейте в две пробирки по 1 мл растворов солей цинка и кадмия. Прилейте в каждую из пробирок несколько капель 1 М раствора гидроксида натрия до выпадения осадков. Испытайте отношение полученных осадков к 10%-му, а затем концентрированному раствору гидроксида натрия.

- Как меняются кислотно-основные свойства гидроксидов элементов 2 группы при переходе от цинка к ртути?

Сульфиды цинка и кадмия

Налейте в пробирки по 1 мл растворов солей цинка и кадмия. Прилейте в каждую из них несколько капель свежеприготовленного раствора сульфида аммония. Отметьте цвет осадков. Испытайте действие на осадок сульфида цинка разбавленной соляной кислоты. В пробирку с сульфидом кадмия добавьте концентрированную соляную кислоту, затем нагрейте.

Налейте в пробирку 1 мл раствора соли цинка, добавьте к нему раствор тиосульфата натрия, затем нагрейте пробирку.

- Сравните значения ПР для сульфидов цинка и кадмия.
- Какой атом тиосульфат-иона координируется к иону цинка?

Аммиакаты цинка и кадмия

К растворам соли цинка и соли кадмия добавьте концентрированный раствор аммиака до полного растворения образующихся осадков.

Отлейте по 1 мл полученных растворов в пробирки и нагрейте их до кипения. Отметьте, наблюдается ли выпадение осадков при кипячении в обоих случаях.

Испытайте действие на аммиачные растворы солей цинка и кадмия концентрированных растворов бромида калия и иодида калия. Отметьте, в каких случаях выпадают осадки.

- Каковы координационные числа цинка и кадмия в полученных аммиакатах?
- Сравните устойчивость аммиачных комплексов цинка и кадмия.

28.2. Соединения ртути

❗ Соединения ртути ядовиты. Все опыты с ее соединениями проводите в вытяжном шкафу на эмалированных или пластмассовых поддонах. По завершении эксперимента остатки неизрасходованных реагентов сдайте лаборанту, отходы соединений ртути слейте в специальные банки на поддоне, руки вымойте с мылом. Не выбрасывайте и не сливайте соединения ртути в раковину.

Соли ртути(+1) и (+2)

1. Налейте в две пробирки по 1 мл раствора нитрата ртути(+2). Прилейте в пробирки по 1 мл 1 М раствора гидроксида натрия и перемешайте. Отметьте цвет осадка. Добавьте к осадку в одной пробирке избыток 1 М раствора гидроксида натрия, а к осадку в другой пробирке — избыток 1 М раствора азотной кислоты.

Повторите опыт с раствором нитрата ртути(+1).

2. Поместите в две пробирки по несколько кристаллов нитратов ртути(+1) и (+2), прилейте по 5 мл воды и перемешайте. Отметьте, насколько прозрачны полученные растворы, и с помощью индикаторной бумаги определите их pH.

Для получения прозрачного раствора добавьте несколько капель концентрированной азотной кислоты.

3. Налейте в пять пробирок по 1 мл раствор нитрата ртути(+1), а в другие пять пробирок — по 1 мл раствора нитрата ртути(+2).

В первую пару пробирок с растворами нитратов ртути(+1) и (+2) добавьте раствор хлорида натрия.

Во вторую пару — прибавьте раствор иодида калия, сначала несколько капель, а потом избыток.

В третью пару пробирок добавьте раствор сульфида аммония, сначала несколько капель, а потом избыток.

В четвертую пару пробирок добавьте раствор хлорида олова(+2), сначала несколько капель, а потом избыток.

В оставшиеся две пробирки прилейте раствор аммиака.

Сравните свойства солей ртути(+1) и ртути(+2).

Реактив Несслера

В пробирку с 1–2 мл раствора нитрата ртути(+2) прилейте раствор иодида калия до выпадения осадка, а затем растворите осадок в избытке раствора иодида калия. Прилейте к полученному раствору несколько капель 10%-го раствора гидроксида калия.

Для проведения реакции обнаружения ионов аммония к 1–2 мл приготовленного реактива добавьте 1–2 капли очень разбавленного раствора соли аммония.

28.3. Синтезы по теме «Цинк, кадмий»

28.3.1. Гексагидрат двойной соли сульфатов аммония и цинка (аналог соли Мора)

Приготовьте 10 мл насыщенного раствора сульфата цинка и насыщенный при 60 °С раствор эквимолярного количества сульфата аммония. Нагрейте раствор сульфата цинка и добавьте к нему раствор сульфата аммония. Смесь охладите, выпавшие кристаллы отфильтруйте при пониженном давлении на воронке со стеклянным фильтрующим дном, затем перекристаллизуйте из минимального количества воды и взвесьте.

28.3.2. Смешанные оксиды цинка и кобальта (Ринманова зелень)

Приготовьте раствор 10 г гексагидрата нитрата цинка в 10 мл воды, добавьте в раствор 0,5 г гексагидрата нитрата кобальта (мольное соотношение цинка и кобальта в полученном растворе должно быть ~19 : 1).

Приготовьте раствор 1 г моногидрата оксалата аммония в 20 мл воды, слегка подогрейте и при постоянном перемешивании добавляйте к нему раствор солей цинка и кобальта до выпадения осадка.

Полученный осадок отфильтруйте на воронке с бумажным фильтром, промойте водой на фильтре и высушите на воздухе. Полученную смесь прокалите в фарфоровом тигле в пламени паяльной горелки.

- Какой состав имеет Ринманова зелень?

28.3.3. Тетрапероксомолибдат(+6) тетраамминцинка, $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4][\text{Mo}(\text{O}_2)_4]$

К 100 мл воды в конической колбе на 500 мл добавьте 100 мл 25%-го раствора аммиака. Внесите в колбу 3,5 г тетрагидрата гептамолибдата аммония и перемешайте содержимое колбы до его полного растворения.

Охладите раствор в бане со смесью льда и хлорида натрия до $-10\text{ }^\circ\text{C}$ (*при $-14\text{ }^\circ\text{C}$ из раствора кристаллизуется лед!*).

Приготовьте раствор 5,7 г гептагидрата сульфата цинка в 20 мл воды. Добавьте в охлажденный раствор в конической колбе при перемешивании сначала 30 мл 30%-го раствора пероксида водорода, а затем раствор сульфата цинка.

Оставьте коническую колбу в бане со льдом, при необходимости иницируйте кристаллизацию трением стеклянной палочки о стенку. Отфильтруйте выпавшие красно-коричневые кристаллы на воронке со стеклянным фильтрующим дном при пониженном давлении, промойте охлажденными спиртом и диэтиловым эфиром. (*Полученное вещество растворяется в воде с разложением. Хранить и запаивать его нельзя!*)

28.3.4. Иодид кадмия

Приготовьте в стакане 20 мл 10%-го раствора сульфата кадмия. Опустите в раствор цинковую пластинку. Примерно через 1 ч извлеките пластинку из раствора. Выделившийся кадмий отфильтруйте на воронке с бумажным фильтром, промойте на фильтре водой, затем высушите на фильтровальной бумаге.

Соберите прибор, изображенный на рисунке 23.4 (см. с. 276). В реакционную колбу налейте 20 мл воды, поместите 1,5 г кадмия и добавьте мелкорастертый иод, взятый с 10%-м избытком. Прилейте к реакционной смеси 2–3 мл бензола или тетрахлорида углерода для предотвращения конденсации иода в холодильнике при проведении синтеза.

Нагрейте реакционную смесь и кипятите ее в течение 2–3 ч. Затем снимите обратный холодильник и отфильтруйте раствор. Фильтрат прокипятите в вытяжном шкафу до полного удаления иода (*доливайте воду по мере ее испарения!*).

Прозрачный бесцветный раствор упарьте в фарфоровой чашке на водяной бане до появления кристаллической пленки и охладите. Выпавшие кристаллы отфильтруйте на бумажном фильтре, высушите на воздухе.

28.3.5. Карбонат кадмия

Приготовьте в стакане раствор 1,8 г дигидрата хлорида кадмия в воде и прилейте раствор карбоната аммония с 10%-м избытком. Добавьте концентрированный раствор аммиака до растворения образовавшегося осадка.

Полученный прозрачный раствор перелейте в фарфоровую чашку и выпаривайте на водяной бане до выпадения кристаллов. Раствор охладите, кристаллы отфильтруйте на бумажном фильтре. Полученное вещество высушите на воздухе.

28.3.6. Получение пленки сульфида кадмия

Приготовьте в стакане 20 мл 10%-го раствора соли кадмия. Добавьте концентрированный раствор аммиака до полного растворения выпавшего при добавлении первых порций аммиака осадка и получения прозрачного раствора.

Внесите в раствор 0,5 г тиомочевины и перемешайте. Поместите в стакан тщательно вымытое и обезжиренное предметное стекло. Поставьте стакан с раствором на треножник с асбестовой сеткой и нагрейте. После появления пленки сульфида кадмия выньте предметное стекло из раствора. Стекло промойте водой, высушите и рассмотрите под микроскопом. Охладите раствор, осадок отфильтруйте на воронке с бумажным фильтром, промойте водой, высушите и взвесьте. Выпавшие кристаллы рассмотрите под микроскопом.

28.4. Практикум повышенной сложности по теме «Цинк, кадмий»

28.4.1. Тетрааммиакат иодида цинка

Соберите прибор, изображенный на рисунке 23.4 (см. с. 276). Поместите 2 г кристаллического иода и 2 г гранулированного цинка в колбу 1. Прилейте к реакционной смеси несколько капель тетрахлорида углерода для предотвращения конденсации иода в холодильнике при проведении синтеза. К 5 мл воды в пробирке добавьте три капли 6 М раствора уксусной кислоты и внесите полученный раствор в колбу.

Пустите воду в холодильник. Если реакция идет медленно, слегка подогрейте реакционную смесь колбонагревателем (колбо-

нагреватель без необходимости не включайте!)). Реакцию ведите до полного расходования иода и обесцвечивания раствора.

Прозрачный раствор декантируйте в небольшой химический стакан и упарьте всю воду при нагревании на газовой горелке *(не перегревайте!)).*

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 26.3 (см. с. 319).

Поместите во взвешенную фарфоровую лодочку ~0,5 г полученного безводного диiodида цинка и взвесьте лодочку с веществом (все взвешивания проводите с точностью $\pm 0,01$ г). Навеску вещества определите по разности масс пустой и заполненной лодочки. Поместите лодочку в реакционную трубку 6.

Заполните прибор аммиаком, по каплям добавляя концентрированный раствор аммиака к гидроксиду натрия, и пропускайте аммиак со скоростью 1–2 пузырька в 1 с (по промывалке–счетчику пузырьков 9).

После прекращения увеличения объема вещества извлеките лодочку из реактора и взвесьте. Вновь поместите лодочку в реактор, пропускайте аммиак еще 10 мин и взвесьте повторно. Опыт продолжайте до достижения постоянной массы вещества (два последовательных взвешивания должны различаться не более чем на 0,02 г). Полученное вещество перенесите в бюкс.

По результатам взвешивания рассчитайте состав аммиаката иодида цинка.

- Устойчиво ли полученное соединение на воздухе и в водном растворе?

28.4.2. Дибромид кадмия

! Работать с бромом можно только в вытяжном шкафу, в перчатках и защитных очках!

Для проведения синтеза воспользуйтесь методикой, изложенной в разделе 24.3.2. Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рисунке 24.2 (см. с. 292). В лодочку 9 поместите 1 г кадмия. Бромирование ведите при 600 °С в течение 1 ч. Рассмотрите под микроскопом кристаллы полученного бромида кадмия и отметьте их цвет и форму.

29. РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

29.1. Соединения церия

Получение и свойства гидроксида церия(+3)

Получите в трех пробирках белый осадок гидроксида церия(+3) действием 1 М раствора гидроксида натрия на 1–2 мл раствора соли церия(+3).

Подействуйте на осадок гидроксида церия(+3) в первой пробирке 10%-м раствором соляной кислоты, во вторую пробирку прилейте 10%-й раствор гидроксида натрия. Осадок гидроксида церия(+3) в третьей пробирке оставьте на воздухе до окончания занятия. Отметьте изменение цвета осадка. Напишите уравнения реакций и объясните наблюдаемые явления.

Соли церия(+3)

К раствору соли церия(+3) прилейте по каплям раствор карбоната аммония до выпадения белого осадка карбоната церия(+3). Испытайте отношение полученного осадка к разбавленному раствору серной кислоты, а также к избытку раствора карбоната аммония.

Получите осадок оксалата церия(+3) действием на раствор соли церия(+3) раствора оксалата натрия. Испытайте отношение полученного осадка к разбавленному раствору серной кислоты. Затем поместите небольшое количество оксалата церия(+3) в фарфоровый тигель и прокалите его в пламени горелки.

Гидроксид церия(+4)

1. К раствору соли церия(+4) прилейте раствор гидроксида натрия до образования желтого осадка.

2. К раствору соли церия(+3) добавьте равный объем 10%-го раствора аммиака, а затем к помутневшему раствору добавьте по каплям 3%-й раствор пероксида водорода. Нагрейте пробирку до образования желтого осадка.

Испытайте отношение полученного желтого осадка к разбавленному раствору серной кислоты и избытку раствора гидроксида натрия.

Соли церия(+4)

К раствору соли церия(+3) прилейте немного раствора пероксодисульфата калия (аммония). К полученному желтому раствору соли церия(+4), подкисленному серной кислотой, добавьте раствор иодида калия. Отметьте, как изменяется окраска раствора.

29.2. Соединения лантана

Получение и свойства гидроксида лантана(+3)

Получите белый осадок гидроксида лантана(+3): к 1–2 мл раствора соли лантана(+3) в пробирке добавьте немного раствора гидроксида натрия.

Испытайте отношение полученного осадка к разбавленному раствору серной кислоты и к концентрированному раствору гидроксида натрия.

Соли лантана(+3)

К раствору соли лантана(+3) прилейте немного раствора карбоната аммония до образования осадка карбоната лантана(+3). Испытайте отношение полученного осадка к разбавленному раствору серной кислоты, а также к избытку насыщенного раствора карбоната аммония.

Получите оксалат лантана(+3) действием раствора щавелевой кислоты или оксалата калия на раствор соли лантана(+3). Поместите получившийся осадок в три пробирки. В первую из них прилейте избыток раствора щавелевой кислоты, во вторую — концентрированный раствор оксалата калия, в третью — раствор соляной кислоты.

Приготовьте 2 мл насыщенного при 0 °С раствора соли лантана(+3). Нагрейте полученный раствор. Отметьте изменения, происходящие при охлаждении раствора.

29.3. Синтезы по теме «Редкоземельные элементы»

29.3.1. Гексанитратоцеррат(+4) аммония, $(\text{NH}_4)_2[\text{Ce}(\text{NO}_3)_6]$

В стакане объемом 250 мл смешайте 5 г октагидрата сульфата церия(+3) со 100 мл воды и добавьте 10 мл 30%-го раствора азотной кислоты. Охладите смесь в бане со льдом и перемешивайте (при охлаждении) до полного растворения соли, после чего осторожно добавьте 20 мл 20%-го раствора гидроксида натрия. К полученному осадку гидроксида церия(+3) добавьте 10 мл 30%-го раствора пероксида водорода. При этом происходит окисление $\text{Ce}(\text{OH})_3$ до $\text{CeO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, сопровождающееся изменением окраски

осадка на желтую. Кроме того, часть гидроксида церия(+4) переходит в раствор в форме пероксокомплексов.

Смесь кипятите 20 мин, после чего для ускорения разложения пероксокомплексов церия(+4) добавьте 1 мл раствора перманганата калия. Продолжайте кипятить смесь еще 15–20 мин, после чего в отдельной пробе проверьте полноту разложения пероксокомплексов. Для этого налейте в пробирку 1–2 мл полученной суспензии и добавьте 5–6 мл концентрированной азотной кислоты, затем нагрейте пробирку. Обесцвечивание раствора и выделение газа свидетельствуют о неполноте разложения. В случае полного разложения получается желто-оранжевый раствор, а выделения газа не наблюдается.

Когда проба станет отрицательной, смесь кипятите ещё 10 мин, после чего отфильтруйте на воронке Бюхнера и тщательно промойте большим количеством воды. Промытый осадок перенесите в стакан объемом 50 мл, добавьте 8 мл концентрированной азотной кислоты и 2,5 г сухого нитрата аммония, после чего кипятите до полного растворения осадка.

Охладите стакан с полученным раствором до комнатной температуры, затем поместите его в баню со льдом. Выпавший оранжево-красный кристаллический осадок гексанитратоцеррата(+4) аммония отделите фильтрованием на воронке со стеклянным фильтрующим дном и два раза промойте 10 мл концентрированной азотной кислоты. Перенесите вещество в бюкс и поместите в эксикатор над оксидом фосфора(+5). Дополнительную порцию соли можно получить, упарив маточный раствор в фарфоровой чашке.

29.3.2. Получение оксида празеодима(+3), Pr_2O_3 , из оксида празеодима(+3, +4), Pr_6O_{11}

! Наденьте защитные очки или маску. Опыт проводите под наблюдением преподавателя!

Соберите прибор для восстановления металлов в токе водорода, изображенный на рисунке 8.2 (см. с. 108).

В расширенную часть трубки с шариком 4 поместите ~0,2 г черного оксида празеодима(+3, +4). Налейте 20%-ю серную кислоту в колбу Вюрца 1 через воронку 2.

Проверьте прибор на герметичность. Затем, убедившись в чистоте выделяющегося водорода, подожгите водород на выходе из прибора.

При непрерывном пропускании водорода осторожно прогрейте реакционную трубку, а затем сильно нагрейте ту часть труб-

ки, где находится оксид Pr_6O_{11} . Следите, чтобы пламя горящего водорода сильно не уменьшалось, для этого своевременно добавляйте кислоту небольшими порциями в колбу Вюрца по мере ее расходования.

После завершения восстановления оксида Pr_6O_{11} (как это определить?) отключите газовую горелку и охладите реакционную трубку до комнатной температуры в токе водорода, погасите пламя горящего водорода.

Поместите в фарфоровый тигель половину синтезированного оксида празеодима(+3) и прокаливаете в пламени газовой горелки до изменения окраски вещества. Небольшие количества полученного при прокаливании оксида Pr_6O_{11} поместите в две пробирки. В первую пробирку добавьте концентрированную соляную кислоту, во вторую — разбавленный раствор азотной или серной кислоты.

Проведите аналогичные опыты с оксидом празеодима(+3).

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Курсовая работа по неорганической химии

Курс неорганической химии завершается выполнением курсовой работы по *синтезу* одного или нескольких *неорганических соединений* и их *идентификации*. Студенту предлагается самостоятельно найти наиболее подходящую методику получения вещества, провести синтез и доказать индивидуальность полученного соединения доступными для студента 1-го курса методами. Кроме практической части работа включает составление обзора оригинальной литературы по методам синтеза и свойствам получаемых соединений.

Работа завершается написанием отчета и защитой: докладом (с презентацией или с иллюстрациями) перед студенческой группой, преподавателями и членами комиссии по курсовым работам. На защите необходимо присутствие научного руководителя курсовой работы (если научный руководитель не может присутствовать, он должен предоставить письменный отзыв о работе студента).

В докладе и тексте курсовой работы следует выразить благодарность всем, кто помогал в ее выполнении.

Руководство методической частью курсовой работы осуществляют преподаватели группы. Кроме систематических консультаций студентам преподаватели проводят в первом семестре беседу о курсовых работах, а во втором семестре, в конце апреля или начале мая, семинар, обсуждая ход выполнения курсовых работ (литературных обзоров, методов и т. д.).

Этапы выполнения курсовой работы

1. Поиск литературы по теме работы

Для составления обзора литературы в первую очередь необходимы разнообразные сведения о синтезируемом соединении, его строении, основных химических и физических свойствах, применении, способах получения, хранения и методах идентификации. После того как будет найдена наиболее подходящая методика получения искомого соединения, следует приступить к сбору данных об исходных веществах и их свойствах.

Для облегчения поиска интересующей информации существуют справочные и реферативные издания, электронные базы данных с поисковыми системами.

Реферативные журналы. Информация об оригинальных статьях попадает в реферативные журналы и сжимается до объема одного абзаца с библиографической ссылкой на оригинальную статью. В настоящее время существуют два основных реферативных журнала: «Реферативный журнал по химии» (РЖ Химия), издаваемый в России, «Chemical Abstracts» (CA), издаваемый в США. Они доступны как в бумажном, так и электронном исполнении и снабжены указателями: предметным, формульным, авторским и патентным. Остается только правильно сформулировать запрос и найти по запросу рефераты статей. Если в реферате есть интересующая информация, имеет смысл ознакомиться с оригинальной работой.

Электронные поисковые системы и базы данных. Информацию о содержании оригинальных статей и обзоров можно найти не только в реферативных изданиях. Для поиска научной литературы созданы системы глобального поиска, такие как «Scopus» (www.scopus.com), «Scirus» (www.scirus.com) и др. Свои поисковые системы предлагают издатели научной литературы. Например, информацию о публикациях издательства Elsevier можно найти с помощью поисковой системы «ScienceDirect» (www.sciencedirect.com). Существуют электронные библиотеки полноразмерных журнальных статей с системами электронного поиска, как и в реферативных журналах. Среди таких библиотек можно выделить российскую электронную библиотеку «eLibrary.ru» (www.elibrary.ru).

Справочные издания. Для первичного ознакомления с материалом по теме работы рекомендуется посмотреть справочники и энциклопедии, включая интернет-издания, такие как, например, Свободная энциклопедия «Wikipedia» (www.wikipedia.org). В них можно найти сведения о хорошо известных веществах. Информация о новых или редких соединениях в них, как правило, отсутствует. Очень важны при первичном поиске литературы многотомные энциклопедические справочники, обобщающие данные за многие годы.

1. Mellor J.W. A comprehensive treatise on inorganic and theoretical chemistry. Longmans, Green and Co. London; New York; Toronto, 1946–1948. Продолжением является Comprehensive Inorganic Chemistry, ed. II/Trotman-Dickerson Ed. Pergamon Press. Oxford; New York; Toronto; Sydney; Braunschweig, 1973.

2. Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie — многотомное справочное руководство на немецком и английском языках.

В обоих справочниках имеется обобщенный текст со ссылками на оригинальную литературу, приведенную в конце каждого раздела.

2. Синтез и исследование

После ознакомления с литературой и выбора способа синтеза можно приступить к выполнению экспериментальной части. Эта часть работы выполняется под наблюдением научного руководителя. После завершения экспериментальной части должен быть оформлен письменный отчет.

3. Оформление курсовой работы

Курсовая работа должна быть напечатана на бумаге формата А4 с пронумерованными страницами и сброшюрована.

Пример оформления *Титульного листа* курсовой работы приводится ниже.

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова Химический факультет Кафедра неорганической химии	
Комплексные соединения никеля(+2) с дикетонами	
Указывается название кафедры и лаборатории, где выполнялась курсовая работа	Курсовая работа по неорганической химии студентки 111 группы Ивановой С.Е. Научный руководитель: к. х. н., с. н. с. Васильев В. К. Преподаватель группы: к. х. н., доц. Сидорова Е. М.
Год выполнения курсовой работы	Москва 2020

При предоставлении курсовой работы к защите на титульном листе должны быть поставлены подписи научного руководителя, преподавателя и студента.

В работе должно быть *Оглавление* с номерами страниц для каждого раздела и подраздела. Пример оформления оглавления приведен ниже.

Оглавление

1. Введение.....	3
2. Обзор литературы.....	4
2.1. Структура флюорита.....	4
2.2. Дефекты в структуре флюорита.....	4
2.3. Новая флюоритоподобная фаза $\text{LaBiZr}_2\text{O}_4\text{F}_6$	6
2.4. Исходные вещества.....	9
2.4.1. Оксид висмута(+3).....	9
2.4.2. Оксид лантана(+3).....	10
2.4.3. Оксид циркония(+4).....	11
2.4.4. Фторид лантана(+3).....	12
2.4.5. Фторид висмута(+3).....	13
2.4.6. Фторид циркония(+4).....	13
3. Экспериментальная часть.....	15
3.1. Исходные вещества.....	15
3.2. Метод исследования — рентгенофазовый анализ.....	16
3.3. Синтез фазы $\text{LaBiZr}_2\text{O}_4\text{F}_6$	17
4. Основные результаты и их обсуждение.....	18
5. Выводы.....	24
6. Список литературы.....	25

Во *Введении* в краткой форме излагаются актуальность научной задачи, степень изученности вопроса, а также известные и возможные области применения синтезируемых соединений. В этом разделе обязательно должна быть сформулирована **цель** работы.

Обзор литературы включает систематизированные сведения об изучаемом соединении и его свойствах, имеющиеся в мировой литературе. Эти сведения должны быть именно обзором литературы, а не дословно переписанными фразами из первоисточника. Очень желательно экономное и наглядное представление литературных сведений в виде таблиц и схем. Все таблицы и рисунки в курсовой работе должны иметь **сквозную нумерацию, названия и единообразное оформление**. Завершая обзор литературы, необходимо дать резюме, критически проанализировав, например, известные методики синтеза данного соединения и обосновав выбор используемого метода.

Экспериментальная часть. В этом разделе подробно описывают все проведенные опыты, условия их проведения (температура, давление, длительность опыта), указывают квалификацию используемых реактивов, их количества, а также точную марку приборов и установок. В этом разделе должны быть приведены **все первичные данные** по синтезу и полученным результатам (схемы приборов, взятые навески, рентгенограммы, спектры, результаты анализа и т. д.).

В разделе *Обсуждение результатов* необходимо представить выявленные экспериментально закономерности, обсудить их с использованием теоретических знаний и сравнить с имеющимися в литературе сведениями. Возможен также другой вариант представления этого раздела: если для обсуждения результатов требуется частое обращение к первичным данным, то они приводятся в этом же разделе, и он в этом случае будет называться *Основные результаты и их обсуждение*.

Выводы должны быть основаны на проделанном эксперименте и содержать основные результаты, полученные в курсовой работе. В них кратко, по пунктам, указывают, какие вещества получены, как установлен их состав, какими методами и какие свойства исследованы. Выводы должны соответствовать заявленной цели работы и ее названию.

В *Списке литературы* цитируемые источники указывают в том порядке, в котором они упоминаются в тексте работы. Ссылки в тексте на цитируемую литературу даются в квадратных скобках строго по порядку упоминания: [1], [2] и т. д. В списке литературы вместо квадратных скобок указываются номера с точкой. Все данные списка литературы приводятся на языке оригинала, а в тексте курсовой работы фамилии авторов приводятся в русской орфографии.

Если автору курсовой работы не удалось ознакомиться со статьей или книгой и необходимую информацию он почерпнул из реферативного журнала (или другой литературы), то в списке литературы после библиографической информации указывается источник, откуда была взята процитированная ссылка.

При оформлении списка цитируемой литературы следует придерживаться единообразия.

Ниже приведены примеры оформления литературных ссылок.

Здесь и далее: С. или Р. —
первая страница статьи

1. Молодкин А.К., Иванова О.М. // ЖНХ. — 1966. — Т. 11. — № 10. — С. 2456.
2. Jovalekic C., Zdujic M., Poleti D., Karanovic Lj., Mitric M. // J. Solid State Chem. 2008. V. 181. P. 1321.
3. Miller S., Taylor J. // Z. Kristallogr. 1986. Bd. 177. № 3–4. S. 247.
4. Fitch A., Fender B. // Compt. Rend. 1983. V. 39. P. 162. Цит. по: РЖ Химия. — 1984. — 2Б102.
5. Блатов В.А., Сережкин В.Н. // Деп. в ВИНТИ 08.12.1989. № 7303–89.

6. Комплексные соединения урана / Под ред. И.И. Черняева. — М.: Наука, 1964. — 810 с.

Здесь и далее: с. — количество страниц
в прочитанной книге

7. Щелоков Р.Н. Химия платиновых и тяжелых металлов. — М.: Наука, 1975. — С. 110.

8. Чукланова Е.Б., Польшова Т.Н., Порай-Кошиц М.А. // Тез. докл. XIV Всесоюзн. Чугаевского совещ. по химии комплексных соединений. Т. 2. — Иваново: ИХТП, 1981. — С. 667.

9. Борисов А.П., Махаев В.Д. Пат. 2027697 РФ // Б. Н. — 1995. № 3. Цит. по [2].

10. Еловик Н.С. Синтез и исследование аммиачных комплексов хрома(III) // Курсовая работа по неорганической химии. — М., Химический факультет МГУ, 2012. — 25 с.

11. Антипов А.Б. Взаимодействие β -дикетонатов лантана с комплексами кобальта // Дипломная работа. — М., Химический факультет МГУ, 2001. — 60 с.

12. Кузьмина Н.П. Модифицирование строения и свойств летучих β -дикетонатов РЗЭ и ЩЗЭ путем разнолигандного комплексообразования // Дисс. на соискание степени доктора хим. наук. — М., МГУ, 2003. — 306 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Справочные таблицы

Таблица П.1. Универсальные физические постоянные

Наименование	Символ	Значение
Элементарный заряд	e	$1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл
Число Авогадро	N_A	$6,022 \cdot 10^{23}$ моль $^{-1}$
Атомная единица массы	а. е. м.	$1,661 \cdot 10^{-27}$ кг
Постоянная Фарадея	F	$9,6485 \cdot 10^4$ Кл/моль = = 96 485 Дж/(моль · В) = = 23 060 кал/(моль · В)
Постоянная Планка	h	$6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж/с
Универсальная газовая постоянная	R	$8,314$ Дж/(моль · К) = = 1,987 кал/(моль · К) = = 0,08205 л · атм/(моль · К)
Постоянная Больцмана	k	$1,381 \cdot 10^{-23}$ Дж/К

Таблица П.2. Соотношения между единицами энергии

	Дж/моль	кал/моль	эВ	см $^{-1}$
1 Дж/моль	1	0,2390	$1,036 \cdot 10^{-5}$	$8,359 \cdot 10^{-2}$
1 кал/моль	4,184	1	$4,336 \cdot 10^{-5}$	0,3497
1 эВ	$96,49 \cdot 10^3$	$23,060 \cdot 10^3$	1	$8,065 \cdot 10^3$
1 см $^{-1}$	11,96	2,859	$1,240 \cdot 10^{-4}$	1

Соотношения между единицами измерений

1 атм = 101 325 Па = 101,325 кПа = 0,101325 МПа

1 атм = 1,01325 бар = 760 мм рт. ст.

1 мм рт. ст. = 1 торр = 133,32 Па

1 бар = $1 \cdot 10^5$ Па = 0,9869 атм

1 микрон (мк, μ) = 1 мкм = $1 \cdot 10^{-6}$ м

1 ангстрем (\AA) = $1 \cdot 10^{-10}$ м = 0,1 нм

При- ставка	Обозначение		Множи- тель	При- ставка	Обозначение		Множи- тель
	рус- ское	между- народное			рус- ское	между- народное	
Тера	Т	T	10^{12}	Деци	д	d	10^{-1}
Гига	Г	G	10^9	Санتي	с	c	10^{-2}
Мега	М	M	10^6	Милли	м	m	10^{-3}
Кило	к	k	10^3	Микро	мк	μ	10^{-6}
Гекто	г	h	10^2	Нано	н	n	10^{-9}
Дека	да	da	10^1	Пико	п	p	10^{-12}

$$\text{Li}_2\text{CO}_3$$

<i>t</i> , °C	0	25	50	75	100
<i>s</i>	1,53	1,27	1,01	0,85	0,72
<i>x</i>	0	0	0	0	0

[illegible]

<i>t</i> , °C	−23	−10	−7	0	20	30	40	75	100
<i>s</i>	38,7	36,9	36,5	36,0	34,7	34,1	33,6	31,9	30,9
<i>x</i>	лед+2	2	2+1	1	1	1	1	1	1

[illegible]

LiCl

<i>t</i> , °C	−5	−20	−50	−67	−57,7	−20	0	10	20
<i>s</i>	5,3	15,6	27,2	31,6	42,7	58,7	68,3	74,5	83,2
<i>x</i>	лед	лед	лед	лед+5	5+3	3+2	2	2	2+1

LiCl (продолжение)

<i>t</i> , °C	25	30	40	60	80	96	100
<i>s</i>	84,5	85,9	89,4	98,8	112,3	127,3	128,8
<i>x</i>	1	1	1	1	1	1+0	0

Na₂B₄O₇ · 10H₂O

<i>t</i> , °C	−0,44	10	20	25	30	40	50	60,7	70	80	100
<i>s</i>	1,06	1,6	2,5	3,2	3,9	6,4	10,5	19,9	24,1	30,6	51,5
<i>x</i>	лед+10	10	10	10	10	10	10	10+5	5	5	5

Na₂CO₃

<i>t</i> , °C	−2,1	0	10	20	25	30	32,1	35,2	40
<i>s</i>	6,1	7,0	12,2	21,8	29,4	39,7	45,8	49,5	48,8
<i>x</i>	лед+10	10	10	10	10	10	10+β-7	β-7+1	1

Na₂CO₃ (продолжение)

<i>t</i> , °C	50	60	70	80	90	100
<i>s</i>	47,3	46,4	45,6	45,1	44,9	44,7
<i>x</i>	1	1	1	1	1	1

NaHCO₃

<i>t</i> , °C	−2,33	0	10	20	25	30	40	60	80	100
<i>s</i>	6,7	6,9	8,2	9,6	10,4	11,1	12,7	16,4	20,2	24,3
<i>x</i>	лед+0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

NaNO₂

<i>t</i> , °C	−2,8	−8,7	−19,5	−7,6	−5,1	0	20	40
<i>s</i>	6,3	19,5	39,1	60,8	71,2	71,4	82,9	95,7
<i>x</i>	лед	лед	лед+0,5	0,5	0,5+0	0	0	0

NaNO₂ (продолжение)

<i>t</i> , °C	60	80	100
<i>s</i>	112,3	135,5	160,0
<i>x</i>	0	0	0

NaNO₃

<i>t</i> , °C	-5	-10	-17,7	0	10	20	25	30	40
<i>s</i>	15,6	33,3	61,3	72,7	79,9	87,6	91,6	96,1	104,9
<i>x</i>	лед	лед	лед+0	0	0	0	0	0	0

NaNO₃ (продолжение)

<i>t</i> , °C	50	60	80	100
<i>s</i>	114,1	124,7	149,0	176,0
<i>x</i>	0	0	0	0

Na₂SO₃

<i>t</i> , °C	-1,28	-2,24	-3,45	0	20	33,4	40	60	80	100
<i>s</i>	3,8	7,3	11,7	14,4	26,1	38,9	37,4	33,2	29,0	26,6
<i>x</i>	лед	лед	лед+7	7	7	7+0	0	0	0	0

Na₂SO₄

<i>t</i> , °C	-0,6	-1,2	0	10	20	25	30	32,38	40
<i>s</i>	2,0	4,2	4,5	9,6	19,2	27,9	40,8	49,8	48,4
<i>x</i>	лед	лед+10	10	10	10	10	10	10+0	0

Na₂SO₄ (продолжение)

<i>t</i> , °C	50	60	70	80	90	100
<i>s</i>	46,6	45,3	44,1	43,3	42,7	42,3
<i>x</i>	0	0	0	0	0	0

Na₂SO₄ (продолжение, метастабильное равновесие)

<i>t</i> , °C	-2,0	-3,6	0	10	20	24	20	25	30
<i>s</i>	7,5	14,5	18,2	30,2	44,9	51,9	52,9	51,5	50,4
<i>x</i>	лед	лед+7	7	7	7	7+0	0	0	0

NaCl (продолжение)

<i>t</i> , °C	-5	-10	-20	-21,2	-10	0,15	10	20	25	30
<i>s</i>	8,6	16,3	29,2	30,4	33,2	35,7	35,7	35,9	36,0	36,1
<i>x</i>	лед	лед	лед	лед+2	2	2+0	0	0	0	0

$t, ^\circ\text{C}$	40	50	60	70	80	90	100
s	36,4	36,8	37,2	37,5	38,1	38,7	39,4
x	0	0	0	0	0	0	0

$$\text{NaClO}_3$$

t , °C	0	10	20	25	30	35	40	100
s	79,6	87,6	95,9	100,5	105,3	109,9	115,3	203,9
x	0	0	0	0	0	0	0	0

$$\text{Na}_2\text{WO}_4$$

$t, ^\circ\text{C}$	-5	0	6	10	20	40	80	100
s	44,1	57,5	71,8	72,1	73,0	77,9	90,1	96,8
x	10	10	10+2	2	2	2	2	2

$$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$$

<i>t</i> , °C	−3,9	−11	0	10	20	25	35	45	48,45 _{т.пл.}
<i>s</i>	17,7	42,9	50,2	59,7	70,1	75,9	91,2	123,9	—
<i>x</i>	лед	лед+5	5	5	5	5	5	5	5

Na₂S₂O₃ (продолжение)

<i>t</i> , °C	47,9	50	60	65	70	75	80	100
<i>s</i>	—	165,1	191,3	—	223,2	—	229,0	245,0
<i>x</i>	5+2	2	2	2+0,5	0,5	0,5+0	0	0

$$\text{NaAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$$
[illegible]

K₂CO₃

<i>t</i> , °C	−10	−20	−30	−36,5	−6,5	0	10	20	25
<i>s</i>	30,0	49,0	62,3	68,9	105,8	107,0	109,2	111,0	112,3
<i>x</i>	лед	лед	лед	лед+6	6+1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

K₂CO₃ (продолжение)

<i>t</i> , °C	30	40	60	80	100
<i>s</i>	113,7	116,9	125,7	139,2	155,8
<i>x</i>	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

KHCO₃

<i>t</i> , °C	−0,70	−3,21	−5,43	0	10	20	25	30	40
<i>s</i>	2,2	11,1	20,4	22,7	27,9	33,3	36,5	39,1	45,6
<i>x</i>	лед	лед	лед+0	0	0	0	0	0	0

KHCO₃ (продолжение)

<i>t</i> , °C	50	60	70
<i>s</i>	52,7	60,0	68,3
<i>x</i>	0	0	0

KNO₃

<i>t</i> , °C	−1,4	−2,9	0	10	20	25	30	40	50
<i>s</i>	5,3	11,1	13,1	21,2	31,6	37,9	46,0	63,9	85,5
<i>x</i>	лед	лед+0	0	0	0	0	0	0	0

KNO₃ (продолжение)

<i>t</i> , °C	60	70	80	90	100
<i>s</i>	110,1	137,5	168,8	204,9	243,6
<i>x</i>	0	0	0	0	0

K₂SO₄

<i>t</i> , °C	−0,5	−1,55	0	9,7	10	20	25	30	40
<i>s</i>	2,56	6,95	7,18	9,25	9,3	11,1	12,05	13,0	14,8
<i>x</i>	лед	лед+1	1	1+0	0	0	0	0	0

K₂SO₄ (продолжение)

<i>t</i> , °C	50	60	80	100
<i>s</i>	16,55	18,2	21,4	24,1
<i>x</i>	0	0	0	0

KAl(SO₄)₂ · 12H₂O

<i>t</i> , °C	0	5	10	20	25	30	40	50	60
<i>s</i>	3,0	3,5	4,0	5,9	7,23	8,39	11,70	17,0	24,8
<i>x</i>	12	12	12	12	12	12	12	12	12

KAl(SO₄)₂ · 12H₂O (продолжение)

<i>t</i> , °C	70	80	90	92,5 _{т.пл.}
<i>s</i>	40,0	71,0	109,0	119,0
<i>x</i>	12	12	12	12

KCl

<i>t</i> , °C	-2,3	-10,0	-10,6	-9,0	-6,6	0	10	20	25
<i>s</i>	5,3	23,1	24,5	25,0	26,0	28,0	31,2	34,4	36,0
<i>x</i>	лед	лед	лед+1	1	1+0	0	0	0	0

KCl (продолжение)

<i>t</i> , °C	30	40	50	60	70	80	90	100
<i>s</i>	37,4	40,3	43,1	45,8	48,4	51,1	53,6	56,0
<i>x</i>	0	0	0	0	0	0	0	0

KClO₃

<i>t</i> , °C	0	10	20	25	30	40	50	60	70	80
<i>s</i>	3,3	5,2	7,3	8,6	10,1	13,9	18,5	23,8	30,2	37,6
<i>x</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

KClO₃ (продолжение)

<i>t</i> , °C	90	100
<i>s</i>	46,0	56,3
<i>x</i>	0	0

$t, ^\circ\text{C}$	0	20	40	60	80	100
s	0,17	0,42	0,93	2,16	4,44	7,87
x	0	0	0	0	0	0

t , °C	-4,3	-11,35	0	20	25	40	60	80	100
s	27	55	59,0	63,0	65,3	67,0	70,9	75,1	79,2
x	лед	лед+0	0	0	0	0	0	0	0

[illegible]

$t, ^\circ\text{C}$	-0,18	-0,27	-0,48	-0,58	10	15	20	25	30	40
s	0,58	1,01	2,02	3,00	4,22	5,24	6,36	7,63	9,0	12,5
x	лед	лед	лед	лед+0	0	0	0	0	0	0

$t, ^\circ\text{C}$	50	65
s	16,8	25,0
x	0	0

<i>t</i> , °C	-10	-20	-30	-33,5	-30	-20	-16,3 _{т.пл.}	-16,7	-10
<i>s</i>	13,2	20,3	25,3	26,6	28,5	36,4	44,1	47,5	50,2
<i>x</i>	лед	лед	лед	лед+12	12	12	12	12+8	8

[illegible]

MgSO₄

<i>t</i> , °C	-0,8	-1,8	-3,2	-4,8	0	1,8	10	20	25
<i>s</i>	5,3	11,1	17,6	22,9	25,5	26,7	30,4	35,1	37,4
<i>x</i>	лед	лед	лед	лед+12	12	12+7	7	7	7

MgSO₄ (продолжение)

<i>t</i> , °C	30	40	48,1	50	60	70	80	100
<i>s</i>	39,7	44,7	49,5	50,4	54,8	59,2	54,8	50,2
<i>x</i>	7	7	7+6	6	6	6+1	1	1

CaCl₂

<i>t</i> , °C	-10	-20	-30	-40	-49,8	-40	-30	-20	-10	0
<i>s</i>	16,8	27,1	33,9	39,1	46,6	46,6	48,8	51,5	55,0	59,5
<i>x</i>	лед	лед	лед	лед	лед+6	6	6	6	6	6

CaCl₂ (продолжение)

<i>t</i> , °C	10	20	30	40	45,3	50	60	70	80
<i>s</i>	65,0	74,5	100,0	115,5	129,9	132,0	137,0	141,6	147,0
<i>x</i>	6	6	6+4	4	4+2	2	2	2	2

CaCl₂ (продолжение)

<i>t</i> , °C	90	100
<i>s</i>	152,5	158,4
<i>x</i>	2	2

Ca(OH)₂

<i>t</i> , °C	-0,125	0	10	20	25	30	40	50	60
<i>s</i>	0,176	0,176	0,170	0,160	0,155	0,148	0,137	0,127	0,114
<i>x</i>	лед+0	0	0	0	0	0	0	0	0

Ca(OH)₂ (продолжение)

<i>t</i> , °C	80	100
<i>s</i>	0,092	0,072
<i>x</i>	0	0

CaSO₄

<i>t</i> , °C	0	10	20	25	30	40	42	50	60
<i>s</i>	0,176	0,193	0,206	0,209	0,212	0,211	0,212	0,180	0,149
<i>x</i>	2	2	2	2	2	2	2+0	α-0	α-0

CaSO₄ (продолжение)

<i>t</i> , °C	80	100
<i>s</i>	0,102	0,066
<i>x</i>	α-0	α-0

CaSO₄ (продолжение, метастабильное равновесие)

<i>t</i> , °C	50	60	80	95	100
<i>s</i>	0,209	0,203	0,188	0,172	0,167
<i>x</i>	2	2	2	2+0,5	0,5+β-0

Sr(OH)₂

<i>t</i> , °C	-0,1	10	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
<i>s</i>	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,8	2,6	3,7	5,5	8,3	16,4	27,9
<i>x</i>	лед+8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8

SrCl₂

<i>t</i> , °C	-5	-10	-19	-10	0	10	15	20	25	30
<i>s</i>	14,2	24,2	36,6	40,1	44,3	48,4	50,8	53,1	55,5	58,7
<i>x</i>	лед	лед	лед+6	6	6	6	6	6	6	6

SrCl₂ (продолжение)

<i>t</i> , °C	40	50	60	61,3	80	100
<i>s</i>	65,8	73,6	84,8	87,3	93,1	102,0
<i>x</i>	6	6	6	6+2	2	2

Sr(NO₃)₂

<i>t</i> , °C	-3,0	-5,7	0	10	20	25	29,3	30	40
<i>s</i>	16,3	32,6	39,5	53,6	70,4	79,5	88,7	88,7	90,1
<i>x</i>	лед	лед+4	4	4	4	4	4+0	0	0

Sr(NO₃)₂ (продолжение)

<i>t</i> , °C	50	60	80	100
<i>s</i>	91,9	93,8	98,0	102,0
<i>x</i>	0	0	0	0

Sr(NO₂)₂

<i>t</i> , °C	-6,8	0	20	35	100
<i>s</i>	48,8	53,0	65,3	75,7	139,0
<i>x</i>	лед+1	1	1	1	1

Ba(NO₃)₂

<i>t</i> , °C	-0,7	0	10	15	20	25	30	35	40	50
<i>s</i>	4,8	4,99	6,78	7,87	9,05	10,32	11,61	12,93	14,29	17,6
<i>x</i>	лед+0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Ba(NO₂)₂

<i>t</i> , °C	-1,7	-3,2	-5,8	-6,5	17	20	40	60	80
<i>s</i>	10,1	24,2	48,5	52,7	66,7	96,1	139,0	206,0	456,0
<i>x</i>	лед	лед	лед	лед+1	1	1	1	1	1

Ba(OH)₂

<i>t</i> , °C	0	10	20	30	40	50	60	75	80
<i>s</i>	1,67	2,48	3,89	5,59	8,22	13,12	20,94	63,51	101,40
<i>x</i>	8	8	8	8	8	8	8	8	8

BaCl₂

<i>t</i> , °C	-1,2	-2,5	-4,3	-6,5	-7,7	-5	0	10	20
<i>s</i>	5,3	11,1	17,6	25,0	28,4	29,4	31,6	33,7	36,2
<i>x</i>	лед	лед	лед	лед	лед+2	2	2	2	2

BaCl₂ (продолжение)

<i>t</i> , °C	25	30	40	50	60	80	100
<i>s</i>	37,4	38,7	41,2	43,7	46,4	52,2	58,2
<i>x</i>	2	2	2	2	2	2	2

H_3BO_3

<i>t</i> , °C	-0,8	0	10	20	25	30	40	50	60
<i>s</i>	2,51	2,77	3,65	4,87	5,74	6,77	8,90	11,39	14,89
<i>x</i>	лед+0	0	0	0	0	0	0	0	0

 H_3BO_3 (продолжение)

<i>t</i> , °C	70	80	90	100
<i>s</i>	18,70	23,54	30,31	38,00
<i>x</i>	0	0	0	0

 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

<i>t</i> , °C	-1,0	-2,0	-9,6	-12,0	0	10	25	30	40
<i>s</i>	8,8	16,7	31,4	37,4	37,9	38,1	38,5	38,9	40,4
<i>x</i>	лед	лед	лед	лед+16	16	16	16	16	16

 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (продолжение)

<i>t</i> , °C	60	70	100
<i>s</i>	44,9	48,8	89,0
<i>x</i>	16	16	16

 AlCl_3

<i>t</i> , °C	-55	-40	-20	0	10	25	30	40	60	98
<i>s</i>	33,9	36,6	41,0	44,9	46,3	45,1	47,0	46,3	46,5	49,5
<i>x</i>	лед+6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

 $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$

<i>t</i> , °C	0	10	15	20	25	30	40	50
<i>s</i>	19,7	29,3	35,6	44,3	55,2	69,7	116,9	221,0
<i>x</i>	3	3	3	3	3	3	3	3

 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$

<i>t</i> , °C	-1,5	-2,5	-2,7	0	20	25	40	60	80	100
<i>s</i>	16,0	31,9	35,1	36,4	52,2	56,5	69,4	88,0	107,4	127,3
<i>x</i>	лед	лед	лед+0	0	0	0	0	0	0	0

PbCl₂

t , °C	0	15	25	35	45	55	65	80	100
s	0,7	0,9	1,1	1,3	1,6	1,8	2,1	2,6	3,3
x	0	0	0	0	0	0	0	0	0

PbI₂

<i>t</i> , °C	0	15	25	30	50	80	100
<i>s</i>	0,04	0,06	0,07	0,09	0,17	0,30	0,44
<i>x</i>	0	0	0	0	0	0	0

$$\text{NH}_4\text{NO}_3$$

<i>t</i>, °C	−16,9	−10,0	−16,0	0	20	25	32,3
<i>s</i>	73,3	89,6	—	122	177,8	214,4	245
<i>x</i>	лед+α-0	лед+β-0	1+β-0	β-0	β-0	β-0	β-0+γ-0

NH₄NO₃ (продолжение)

t , °C	40	60	80	85	100
s	294	411	600	669	843
x	γ -0	γ -0	γ -0	γ -0+ σ -0	σ -0

$$\text{NH}_4\text{Cl}$$

<i>t</i> , °C	-15	-10,9	-5,7	0	10	20	30	40	50
<i>s</i>	24,5	25,5	27,7	29,4	33,2	37,2	41,4	45,8	50,4
<i>x</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0

NH₄Cl (продолжение)

<i>t</i> , °C	60	70	80	90	100
<i>s</i>	55,2	60,2	65,6	71,3	78,6
<i>x</i>	0	0	0	0	0

$$\text{NH}_4\text{HCO}_3$$
[illegible]

MnCl₂

<i>t</i> , °C	−5,5	−12,0	—	−2	0	10	20	25	30	40	50
<i>s</i>	11,7	20,5	—	62,1	63,4	68,1	73,9	77,2	80,7	88,6	98,2
<i>x</i>	лед	лед	лед+6	6+4	4	4	4	4	4	4	4

MnCl₂ (продолжение)

<i>t</i> , °C	58,1	60	70	80	90	100
<i>s</i>	106,0	108,6	110,6	112,7	114,1	115,3
<i>x</i>	4+2	2	2	2	2	2

FeSO₄

<i>t</i> , °C	−1,287	−1,824	0	10	20	30	40	50	56,6
<i>s</i>	10,5	14,5	15,8	20,8	26,3	32,8	40,1	48,4	54,6
<i>x</i>	лед	лед+7	7	7	7	7	7	7	7+4

FeSO₄ (продолжение)

<i>t</i> , °C	63,7	80	100
<i>s</i>	55,3	43,7	31,6
<i>x</i>	4+1	1	1

Fe(NH₄)₂(SO₄)₂ · 6H₂O

<i>t</i> , °C	0	10	15	20	40	50	70
<i>s</i>	12,5	17,2	20,0	26,4	33,0	40,0	52,0
<i>x</i>	6	6	6	6	6	6	6

CoCl₂

<i>t</i> , °C	−10	−20	−22,5	0	10	20	25	30	40	49
<i>s</i>	18,0	29,0	31,6	43,5	47,7	52,9	56,2	59,7	69,5	85,2
<i>x</i>	лед	лед	лед+6	6	6	6	6	6	6	6+4

CoCl₂ (продолжение)

<i>t</i> , °C	50	58	60	80	100
<i>s</i>	85,9	93,8	93,8	97,6	106,2
<i>x</i>	4	4+2	2	2	2

CoSO₄

<i>t</i> , °C	-0,9	-1,4	-2,7	0	10	20	25	40	43,3	50
<i>s</i>	9,9	14,4	23,2	24,7	30,8	35,5	37,6	48,8	60,0	51,1
<i>x</i>	лед	лед	лед+7	7	7	7	7	7	7+6	6

CoSO₄ (продолжение)

<i>t</i> , °C	64,2	70	80	90	100
<i>s</i>	58,0	54,8	49,3	43,5	38,5
<i>x</i>	6+1	1	1	1	1

Co(NO₃)₂

<i>t</i> , °C	-18	-22	-24	-22	0	15	20	25	30
<i>s</i>	48,8	57,2	66,7	71,0	83,5	91,2	97,3	102,5	111,4
<i>x</i>	лед	лед	лед+9	9+6	6	6	6	6	6

Co(NO₃)₂ (продолжение)

<i>t</i> , °C	54,5	80
<i>s</i>	161	211
<i>x</i>	6+3	3

NiCl₂

<i>t</i> , °C	-0,5	-11,3	-26,7	-45,3	-33,3	-9,8	0	25	28,9
<i>s</i>	2,2	18,5	31,9	42,7	51,1	51,7	53,4	65,6	71,2
<i>x</i>	лед	лед	лед	лед+7	7+6	6	6	6	6+4

NiCl₂ (продолжение)

<i>t</i> , °C	50	64,3	75	100
<i>s</i>	76,0	85,5	86,2	87,6
<i>x</i>	4	4+2	2	2

NiSO₄

<i>t</i> , °C	-0,9	-3,4	0	10	20	25	30	30,7	40	50
<i>s</i>	10	26,6	28,1	33,0	38,4	41,2	44,1	44,3	48,2	52,8
<i>x</i>	лед	лед+7	7	7	7	7	7	7+α-6	α-6	α-6

NiSO₄ (продолжение)

<i>t</i> , °C	53,8	60	70	80	84,8	104
<i>s</i>	54,6	56,9	61,0	66,7	69,3	69,3
<i>x</i>	α-6+β-6	β-6	β-6	β-6	β-6+1	1

Ni(NO₃)₂

<i>t</i> , °C	-9,4	-21,3	-27,8	-20	-34,1	-20,6	0	20	25
<i>s</i>	27,7	47,2	56,2	62,1	63,1	68,1	79,2	94,2	100
<i>x</i>	лед	лед	лед+9	9	9+6	6	6	6	6

Ni(NO₃)₂ (продолжение)

<i>t</i> , °C	30	40	50	54	60	70	85,4	100
<i>s</i>	105,3	118,8	139,2	150,0	157,7	172	204,9	225
<i>x</i>	6	6	6	6+4	4	4	4+2	2

CuCl₂

<i>t</i> , °C	-10	-20	-30	-40	0	10	20	25	30
<i>s</i>	21,1	36,1	49,5	62,6	69,2	71,5	74,5	76,4	78,3
<i>x</i>	лед	лед	лед	лед+2	2	2	2	2	2

CuCl₂ (продолжение)

<i>t</i> , °C	40	50	60	80	100
<i>s</i>	81,8	85,5	89,4	98,0	110,5
<i>x</i>	2	2	2	2	2

CuSO₄

<i>t</i> , °C	-1	-1,5	0	10	20	25	30	40	50
<i>s</i>	9,3	14,0	14,3	17,2	20,5	22,3	24,4	28,7	33,7
<i>x</i>	лед	лед+5	5	5	5	5	5	5	5

CuSO₄ (продолжение)

<i>t</i> , °C	60	80	96	100
<i>s</i>	39,5	55,5	76,7	77,0
<i>x</i>	5	5	5+3	3

$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$

<i>t</i> , °C	-10	-20	-26,37	-20	-10	0	10	20	25
<i>s</i>	40,8	51,5	63,9	66,7	73,9	83,5	100,0	124,7	150,6
<i>x</i>	лед	лед	лед+6	6	6	6	6	6	6

 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ (продолжение)

<i>t</i> , °C	25,4	30	40	50	60	70	80	90	100
<i>s</i>	155,1	156,4	163,2	171,7	181,7	194,1	207,7	222,6	247,2
<i>x</i>	6+3	3	3	3	3	3	3	3	3

 AgNO_3

<i>t</i> , °C	-2	-7,19	0	10	20	25	30	40	50
<i>s</i>	13,2	89,7	122,2	173,2	222,5	249,6	274,5	321,9	383,0
<i>x</i>	лед	лед+0	0	0	0	0	0	0	0

 AgNO_3 (продолжение)

<i>t</i> , °C	60	80	100
<i>s</i>	449,0	604,0	770,0
<i>x</i>	0	0	0

 ZnSO_4

<i>t</i> , °C	-1,3	-3,1	-6,7	0	10	20	25	30	38	40
<i>s</i>	11,1	25,0	38,5	41,8	47,5	54,1	58,0	62,1	69,2	70,4
<i>x</i>	лед	лед	лед+7	7	7	7	7	7	7+6	6

 ZnSO_4 (продолжение)

<i>t</i> , °C	51,5	60	70	80	100
<i>s</i>	77,9	74,8	70,9	67,2	60,5
<i>x</i>	6+1	1	1	1	1

 $\text{Zn}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

<i>t</i> , °C	0	10	20	25	30	40	60	80
<i>s</i>	7,0	9,5	12,5	14,1	16,0	20,0	30,0	42,0
<i>x</i>	6	6	6	6	6	6	6	6

CdI₂

<i>t</i> , °C	-1,0	-5,3	-4	-2,9	0	10	20	25	30
<i>s</i>	22,0	72,6	75,4	77,8	78,7	81,5	84,8	86,6	88,3
<i>x</i>	лед	лед+4	4	4+0	0	0	0	0	0

CdI₂ (продолжение)

<i>t</i> , °C	40	60	80	100
<i>s</i>	92,3	101,2	112,8	127,8
<i>x</i>	0	0	0	0

HgCl₂

<i>t</i> , °C	0	10	20	25	30	40	50	60	70	80
<i>s</i>	4,7	5,4	6,6	7,3	8,1	10,2	13,2	17,4	23,1	30,9
<i>x</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

HgCl₂ (продолжение)

<i>t</i> , °C	90	100	105
<i>s</i>	41,9	58,3	73,4
<i>x</i>	0	0	0

Таблица П.5. Давление насыщенного водяного пара, мм рт. ст., над водой при различной температуре, °C

Де-сят-ки °C	Единицы °C									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	4,579	4,926	5,294	5,685	6,101	6,543	7,013	7,513	8,045	8,509
10	9,209	9,844	10,52	11,23	11,99	12,79	13,63	14,53	15,48	16,48
20	17,53	18,65	19,83	21,07	22,38	23,76	25,21	26,74	28,35	30,05
30	31,82	33,69	35,66	37,73	39,90	42,17	44,56	47,07	49,69	52,44
40	55,32	58,34	61,50	64,80	68,26	71,88	75,65	79,60	83,71	88,02
50	92,51	97,20	102,1	107,2	112,5	118,4	123,8	129,8	136,1	142,6
60	149,4	156,4	163,8	171,4	179,3	187,5	196,1	205,0	214,2	223,7
70	233,7	243,9	254,6	265,7	277,2	289,1	301,4	314,1	327,3	341,0
80	355,1	369,7	384,9	400,6	416,8	433,6	450,9	468,7	487,1	506,1
90	525,8	546,1	567,0	588,6	610,9	633,9	657,6	682,1	707,3	733,2
100	760,0	787,7	815,9	845,1	875,1	906,1	937,9	970,6	1004	1039

Таблица П.6. Осушители для газов и органических жидкостей и их эффективность

Осушитель	Характерные свойства	Применимость		Осушающая эффективность*	Признаки потери осушающих свойств
		хорошая	неприменим		
Серная кислота, концентрированная	Высокая водоотнимающая способность	HCl, Cl ₂ , Br ₂ , CO, N ₂ O, N ₂	NH ₃ , HF, HBr, HI, H ₂ S, PH ₃ , NO ₂ , NO	$3 \cdot 10^{-3}$	Внешне заметны
Хлорид кальция, безводный, прокаленный или гранулированный	Высокая пористость	H ₂ , N ₂ , O ₂ , CO, CO ₂ , Cl ₂ , H ₂ S	HF, спирты, амины, HBr, HI, Br ₂ , NH ₃	0,14–0,36	Расплывание
Силикагель	Регенерируется при 150 °С	В эксикаторах	HF, NH ₃ , Cl ₂ , Br ₂	$2 \cdot 10^{-2}$	Индикатор влажности меняет голубую окраску на розовую
Сульфат кальция, безводный	Регенерируется при 230–250 °С	Для осушения органических жидкостей	—	$4 \cdot 10^{-3}$	Переход в кристаллогидрат
Сульфат натрия, безводный	Вещество очень индифферентно	Для осушения органических жидкостей	—	—	Переход в кристаллогидрат
Перхлорат магния, безводный, порошкообразный или гранулированный	Регенерируется в вакууме (40 мм рт. ст.) при 250 °С	Почти все газы	Органические вещества и газы, даже в виде при- месей	$5 \cdot 10^{-4}$	Переход в гексагидрат

Окончание табл. П.6

Осушитель	Свойства	Применимость		Осушающая эффективность*	Признаки потери осушающих свойств
		хорошая	неприменим		
Оксид фосфора(+5), порошкообразный	Очень гигроскопичен, при-меняют только на носителях	H ₂ , N ₂ , O ₂ , NO ₂ , NO, N ₂ O, CO, CCl ₄	NH ₃ , эфир, ацетон	2 · 10 ⁻³	Расплывается с образованием стекловидной массы
Гидроксид калия	Поглощают воду и углекислый газ	NH ₃ , PH ₃ , N ₂ O, органические соединения и спирты	Кислоты, альдегиды, кетоны	2 · 10 ⁻³	Расплывается
Гидроксид натрия				1,6 · 10 ⁻¹	Расплывается
Оксид кальция				2 · 10 ⁻¹	Переход в гидроксид
Оксид бария				1 · 10 ⁻⁴	Переход в гидратированный гидроксид

 * Количество воды в мг, содержащееся в 1 дм³ осушенного воздуха при 25 °С.

Таблица П.7. Произведение растворимости (при 20–25 °С)

Вещество	ПР	рПР	Вещество	ПР	рПР
Li_2CO_3	$4,0 \cdot 10^{-3}$	2,40	$\text{Mg}(\text{OH})_2$ (свежеосажд.)	$6,0 \cdot 10^{-10}$	9,22
Li_3PO_4	$3,2 \cdot 10^{-9}$	8,50	MgF_2	$6,5 \cdot 10^{-9}$	8,19
LiOH	$4,0 \cdot 10^{-2}$	1,40	CaCO_3	$3,8 \cdot 10^{-9}$	8,42
LiF	$1,7 \cdot 10^{-3}$	2,77	CaC_2O_4	$2,3 \cdot 10^{-9}$	8,64
$\text{Na}_2[\text{BeF}_4]$	$7,0 \cdot 10^{-3}$	2,15	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	3,0
$\text{Na}_3[\text{AlF}_6]$	$4,1 \cdot 10^{-10}$	9,39	CaHPO_4	$2,7 \cdot 10^{-7}$	6,57
$\text{Na}_2[\text{SiF}_6]$	$2,8 \cdot 10^{-4}$	3,56	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	$2,0 \cdot 10^{-29}$	28,7
$\text{Na}[\text{Sb}(\text{OH})_6]$	$4,0 \cdot 10^{-8}$	7,40	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	$6,5 \cdot 10^{-6}$	5,19
NaIO_4	$3,0 \cdot 10^{-3}$	2,50	CaSO_3	$3,2 \cdot 10^{-7}$	6,5
$\text{K}_2[\text{SiF}_6]$	$8,7 \cdot 10^{-7}$	6,06	CaSO_4	$2,5 \cdot 10^{-5}$	4,6
KClO_4	$1,1 \cdot 10^{-2}$	1,97	CaCrO_4	$7,1 \cdot 10^{-4}$	3,15
KIO_4	$8,3 \cdot 10^{-4}$	3,08	CaWO_4	$9,0 \cdot 10^{-9}$	8,06
$\text{K}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$	$4,3 \cdot 10^{-10}$	9,37	CaF_2	$4,0 \cdot 10^{-11}$	10,4
$\text{K}_2[\text{PtCl}_6]$	$1,1 \cdot 10^{-5}$	4,96	SrCO_3	$1,1 \cdot 10^{-10}$	9,96
KReO_4	$1,9 \cdot 10^{-3}$	2,72	SrC_2O_4	$1,6 \cdot 10^{-7}$	6,80
RbBF_4	$1,0 \cdot 10^{-3}$	3,0	SrCrO_4	$3,6 \cdot 10^{-5}$	4,44
RbBrO_3	$2,0 \cdot 10^{-2}$	1,7	$\text{Sr}_3(\text{PO}_4)_2$	$1,0 \cdot 10^{-31}$	31,0
RbClO_4	$2,5 \cdot 10^{-3}$	2,6	$\text{Sr}(\text{OH})_2$	$3,2 \cdot 10^{-4}$	3,50
RbIO_4	$5,5 \cdot 10^{-4}$	3,26	SrSO_4	$3,2 \cdot 10^{-7}$	6,49
Rb_2SiF_6	$5,0 \cdot 10^{-7}$	6,3	SrF_2	$2,5 \cdot 10^{-9}$	8,61
RbMnO_4	$2,9 \cdot 10^{-3}$	2,54	BaCO_3	$4,0 \cdot 10^{-10}$	9,40
CsClO_3	$4,0 \cdot 10^{-2}$	1,4	BaC_2O_4	$1,1 \cdot 10^{-7}$	6,96
CsClO_4	$4,0 \cdot 10^{-3}$	2,4	$\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2$	$6,0 \cdot 10^{-39}$	38,22
CsIO_3	$1,0 \cdot 10^{-2}$	2,0	$\text{Ba}(\text{OH})_2$	$5,0 \cdot 10^{-3}$	2,3
CsIO_4	$4,4 \cdot 10^{-3}$	2,36	BaS_2O_3	$1,6 \cdot 10^{-5}$	4,79
CsMnO_4	$9,1 \cdot 10^{-5}$	4,08	BaSO_3	$8,0 \cdot 10^{-7}$	6,1
Cs_2PtCl_6	$3,0 \cdot 10^{-8}$	7,5	BaSO_4	$1,1 \cdot 10^{-10}$	9,97
MgCO_3	$2,1 \cdot 10^{-5}$	4,67	BaF_2	$1,1 \cdot 10^{-6}$	5,98
$\text{Mg}(\text{IO}_3)_2$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	2,5	$\text{Ba}(\text{IO}_3)_2$	$1,5 \cdot 10^{-9}$	8,82
MgNH_4PO_4	$2,5 \cdot 10^{-13}$	12,6	BaCrO_4	$1,2 \cdot 10^{-10}$	9,93
$\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$	$1,0 \cdot 10^{-13}$	13,0	BaMoO_4	$4,0 \cdot 10^{-8}$	7,40
MgSO_3	$3,0 \cdot 10^{-3}$	2,5	BaMnO_4	$2,5 \cdot 10^{-10}$	9,60

Продолжение табл. П.7

Вещество	ПР	рПР
AlPO_4	$5,75 \cdot 10^{-19}$	18,24
$\text{Al}(\text{OH})_3$	$3,2 \cdot 10^{-34}$	33,5
In_2S_3	$5,75 \cdot 10^{-74}$	73,24
$\text{In}(\text{OH})_3$	$1,2 \cdot 10^{-37}$	36,92
$\text{Ga}(\text{OH})_3$	$1,6 \cdot 10^{-37}$	36,8
$\text{Tl}(\text{OH})_3$	$1,3 \cdot 10^{-46}$	45,9
Tl_2S	$5,0 \cdot 10^{-21}$	20,30
TlCl	$1,7 \cdot 10^{-4}$	3,76
TlI	$5,75 \cdot 10^{-8}$	7,24
$\text{Ge}(\text{OH})_4$	$1,0 \cdot 10^{-57}$	57
GeS	$3,0 \cdot 10^{-35}$	34,5
$\text{Sn}(\text{OH})_4$	$1,0 \cdot 10^{-57}$	57
$\text{Sn}(\text{OH})_2$	$6,3 \cdot 10^{-27}$	26,2
SnS	$2,5 \cdot 10^{-27}$	26,6
SnI_2	$8,3 \cdot 10^{-6}$	5,08
PbCO_3	$7,5 \cdot 10^{-14}$	13,13
PbC_2O_4	$4,8 \cdot 10^{-10}$	9,32
$\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$	$7,9 \cdot 10^{-43}$	42,10
$\text{Pb}(\text{OH})_2$	$5,0 \cdot 10^{-16}$	15,28
$\text{Pb}(\text{SCN})_2$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	4,70
PbS	$2,5 \cdot 10^{-27}$	26,6
PbS_2O_3	$4,0 \cdot 10^{-7}$	6,40
PbSO_4	$1,6 \cdot 10^{-8}$	7,80
PbCl_2	$1,6 \cdot 10^{-5}$	4,79
PbBr_2	$9,1 \cdot 10^{-6}$	5,04
PbI_2	$1,1 \cdot 10^{-9}$	8,98
PbCrO_4	$1,8 \cdot 10^{-14}$	13,75
PbMoO_4	$4,0 \cdot 10^{-6}$	5,4
PbWO_4	$4,5 \cdot 10^{-7}$	6,35
$\text{Sb}(\text{OH})_3$	$1,7 \cdot 10^{-38}$	37,76
Sb_2S_3	$1,6 \cdot 10^{-93}$	92,80
$\text{Bi}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3$	$4,0 \cdot 10^{-36}$	35,4

Вещество	ПР	рПР
BiPO_4	$1,3 \cdot 10^{-23}$	22,9
$(\text{BiO})\text{OH}$	$4,0 \cdot 10^{-10}$	9,4
Bi_2S_3	$1,0 \cdot 10^{-97}$	97
BiI_3	$8,1 \cdot 10^{-19}$	18,09
$\text{La}_2(\text{CO}_3)_3$	$4,0 \cdot 10^{-34}$	33,4
$\text{La}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3$	$1,0 \cdot 10^{-25}$	25
$\text{La}(\text{OH})_3$ (свежеосажд.)	$6,5 \cdot 10^{-20}$	19,19
$\text{La}(\text{OH})_3$ (состаренный)	$2,0 \cdot 10^{-22}$	21,7
La_2S_3	$2,0 \cdot 10^{-13}$	12,7
$\text{Zr}_3(\text{PO}_4)_4$	$1,0 \cdot 10^{-132}$	132
$\text{Zr}(\text{OH})_4$	$7,9 \cdot 10^{-55}$	54,1
$\text{Ce}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3$	$2,5 \cdot 10^{-29}$	28,6
$(\text{VO})_3(\text{PO}_4)_2$	$8,0 \cdot 10^{-25}$	24,1
$\text{VO}(\text{OH})_2$	$1,9 \cdot 10^{-24}$	23,72
$\text{Cr}(\text{OH})_2$	$1,0 \cdot 10^{-17}$	17,0
$\text{Cr}(\text{OH})_3$	$6,3 \cdot 10^{-31}$	30,2
MnCO_3	$1,8 \cdot 10^{-11}$	10,74
MnC_2O_4	$5,0 \cdot 10^{-6}$	5,3
$\text{Mn}(\text{OH})_2$	$1,9 \cdot 10^{-13}$	12,72
$\text{Mn}(\text{OH})_3$	$1,0 \cdot 10^{-36}$	36
$\text{Mn}(\text{OH})_4$	$1,0 \cdot 10^{-56}$	56
MnS (бледно-розовый)	$2,5 \cdot 10^{-10}$	9,6
MnS (зеленый)	$2,5 \cdot 10^{-13}$	12,6
FeCO_3	$3,5 \cdot 10^{-11}$	10,46
FeC_2O_4	$2,0 \cdot 10^{-7}$	6,7
$\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$	$3,0 \cdot 10^{-41}$	40,52
FePO_4	$1,3 \cdot 10^{-22}$	21,89
$\text{Fe}(\text{OH})_2$	$7,1 \cdot 10^{-16}$	15,15
$\text{Fe}(\text{OH})_3$ (сведеосажд.)	$6,3 \cdot 10^{-38}$	37,2

Продолжение табл. П.7

Вещество	ПР	рПР
Fe(OH) ₃ (состаренный)	$3,2 \cdot 10^{-40}$	39,5
FeS	$5,0 \cdot 10^{-18}$	17,3
FeS ₂	$6,3 \cdot 10^{-31}$	30,2
CoCO ₃	$1,0 \cdot 10^{-10}$	10
CoC ₂ O ₄	$6,3 \cdot 10^{-8}$	7,2
Co ₂ [Fe(CN) ₆]	$4,8 \cdot 10^{-38}$	37,32
Co(OH) ₂ (голубой)	$6,3 \cdot 10^{-15}$	14,20
Co(OH) ₂ (розовый)	$1,6 \cdot 10^{-15}$	14,80
Co(OH) ₃	$4,0 \cdot 10^{-45}$	44,4
CoS (α)	$4,0 \cdot 10^{-21}$	20,4
CoS (β)	$2,0 \cdot 10^{-25}$	24,70
NiCO ₃	$1,3 \cdot 10^{-7}$	6,87
NiC ₂ O ₄	$4,0 \cdot 10^{-10}$	9,4
Ni ₂ [Fe(CN) ₆]	$1,3 \cdot 10^{-15}$	14,89
Ni ₂ P ₂ O ₇	$1,7 \cdot 10^{-13}$	12,77
Ni(OH) ₂ (свежеосажд.)	$2,0 \cdot 10^{-15}$	14,89
Ni(OH) ₂ (состаренный)	$6,3 \cdot 10^{-18}$	17,20
NiS (α)	$3,2 \cdot 10^{-19}$	18,5
NiS (β)	$1,0 \cdot 10^{-24}$	24,0
NiS (γ)	$2,0 \cdot 10^{-26}$	25,7
PtCl ₄	$8,0 \cdot 10^{-29}$	28,1
PtBr ₄	$3,0 \cdot 10^{-41}$	40,5
Pt(OH) ₂	$1,0 \cdot 10^{-35}$	35
PtS	$8,0 \cdot 10^{-73}$	72,1
CuCN	$3,2 \cdot 10^{-20}$	19,49
CuSCN	$4,8 \cdot 10^{-15}$	14,32
Cu ₂ S	$2,5 \cdot 10^{-48}$	47,60
CuCl	$1,2 \cdot 10^{-6}$	5,92
CuBr	$5,25 \cdot 10^{-9}$	8,28
CuI	$1,1 \cdot 10^{-12}$	11,96

Вещество	ПР	рПР
Cu(IO ₃) ₂	$7,4 \cdot 10^{-8}$	7,13
CuC ₂ O ₄	$3,0 \cdot 10^{-8}$	7,5
Cu ₂ P ₂ O ₇	$8,3 \cdot 10^{-16}$	15,08
Cu(OH) ₂	$8,3 \cdot 10^{-20}$	19,08
Cu ₂ (OH) ₂ CO ₃ (малахит)	$1,7 \cdot 10^{-34}$	33,76
Cu ₃ (OH) ₂ (CO ₃) ₂ (азурит)	$1,1 \cdot 10^{-46}$	45,96
CuS	$6,3 \cdot 10^{-36}$	35,2
CuCrO ₄	$3,6 \cdot 10^{-6}$	5,44
Ag ₂ CO ₃	$1,2 \cdot 10^{-12}$	11,09
AgCN	$1,4 \cdot 10^{-16}$	15,84
AgSCN	$1,1 \cdot 10^{-12}$	11,97
Ag ₃ PO ₄	$1,3 \cdot 10^{-20}$	19,89
Ag ₂ S	$6,3 \cdot 10^{-50}$	49,2
AgCl	$1,78 \cdot 10^{-10}$	9,75
AgBr	$5,3 \cdot 10^{-13}$	12,28
AgI	$8,3 \cdot 10^{-17}$	16,08
AgBrO ₃	$5,5 \cdot 10^{-5}$	4,26
Ag ₂ HVO ₄	$2,0 \cdot 10^{-14}$	13,7
AgVO ₃	$5,0 \cdot 10^{-7}$	6,3
Ag ₂ CrO ₄	$1,1 \cdot 10^{-12}$	11,95
Ag ₂ Cr ₂ O ₇	$1,0 \cdot 10^{-10}$	10
Ag ₂ MoO ₄	$2,8 \cdot 10^{-12}$	11,55
Ag ₂ WO ₄	$5,5 \cdot 10^{-12}$	11,26
AuCl	$2,0 \cdot 10^{-13}$	12,7
AuBr	$5,0 \cdot 10^{-17}$	16,3
AuI	$1,6 \cdot 10^{-23}$	22,8
ZnCO ₃	$1,45 \cdot 10^{-11}$	10,84
Zn ₃ (PO ₄) ₂	$9,1 \cdot 10^{-33}$	32,04
Zn(OH) ₂	$1,4 \cdot 10^{-17}$	16,86
ZnS (сфалерит)	$1,6 \cdot 10^{-24}$	23,80
ZnS (вюрцит)	$2,5 \cdot 10^{-22}$	21,60

Окончание табл. П.7

Вещество	ПР	рПР
Zn(OH) ₂ (свежеосажд.)	$2,2 \cdot 10^{-14}$	13,66
Zn(OH) ₂ (состаренный)	$5,9 \cdot 10^{-15}$	14,23
CdCO ₃	$1,0 \cdot 10^{-12}$	12,00
CdC ₂ O ₄	$1,5 \cdot 10^{-8}$	7,8
CdS	$1,6 \cdot 10^{-28}$	27,8
Cd(OH) ₂ (свежеосажд.)	$2,2 \cdot 10^{-14}$	13,66

Вещество	ПР	рПР
Cd(OH) ₂ (состаренный)	$5,9 \cdot 10^{-15}$	14,23
Hg ₂ Cl ₂	$1,3 \cdot 10^{-18}$	17,88
Hg ₂ Br ₂	$5,8 \cdot 10^{-23}$	22,24
Hg ₂ I ₂	$4,5 \cdot 10^{-29}$	28,35
Hg ₂ CrO ₄	$5,0 \cdot 10^{-9}$	8,70
HgS (черный)	$1,6 \cdot 10^{-52}$	51,8
HgS (красный)	$4,0 \cdot 10^{-53}$	52,4

Таблица П.8. Константы диссоциации кислот (при 25 °С)

Формула		K_a	р K_a
H ₃ BO ₃	K_1	$7,1 \cdot 10^{-10}$	9,15
H ₂ B ₄ O ₇	K_1	$1,8 \cdot 10^{-4}$	3,74
	K_2	$2,0 \cdot 10^{-8}$	7,70
CO ₂ (водн.) + + H ₂ O	K_1	$4,5 \cdot 10^{-7}$	6,35
	K_2	$4,8 \cdot 10^{-11}$	10,32
HCOOH		$1,8 \cdot 10^{-4}$	3,75
CH ₃ COOH		$1,74 \cdot 10^{-5}$	4,76
CH ₂ ClCOOH		$1,4 \cdot 10^{-3}$	2,86
CCl ₃ COOH		$2,0 \cdot 10^{-1}$	0,70
H ₂ C ₂ O ₄	K_1	$5,6 \cdot 10^{-2}$	1,25
	K_2	$5,4 \cdot 10^{-5}$	4,27
HCN		$5,0 \cdot 10^{-10}$	9,30
H ₄ SiO ₄	K_1	$1,3 \cdot 10^{-10}$	9,9
H ₄ GeO ₄	K_1	$7,9 \cdot 10^{-10}$	9,10
	K_2	$2,0 \cdot 10^{-13}$	12,7
HN ₃		$2,0 \cdot 10^{-5}$	4,70
H ₂ N ₂ O ₂	K_1	$6,2 \cdot 10^{-8}$	7,21
	K_2	$2,9 \cdot 10^{-12}$	11,54

Формула		K_a	р K_a
HNO ₂		$5,1 \cdot 10^{-4}$	3,29
HNO ₃		—	-1,32
H ₃ PO ₂		$5,9 \cdot 10^{-2}$	1,23
H ₃ PO ₃	K_1	$3,1 \cdot 10^{-2}$	1,51
	K_2	$1,6 \cdot 10^{-7}$	6,79
H ₃ PO ₄	K_1	$7,1 \cdot 10^{-3}$	2,15
	K_2	$6,2 \cdot 10^{-8}$	7,21
	K_3	$5,0 \cdot 10^{-13}$	12,30
H ₄ P ₂ O ₆	K_1	$6,3 \cdot 10^{-3}$	2,20
	K_2	$1,6 \cdot 10^{-3}$	2,81
	K_3	$5,4 \cdot 10^{-8}$	7,27
	K_4	$9,3 \cdot 10^{-11}$	10,03
H ₃ AsO ₃		$5,9 \cdot 10^{-10}$	9,23
H ₃ AsO ₄	K_1	$5,6 \cdot 10^{-3}$	2,25
	K_2	$1,7 \cdot 10^{-7}$	6,77
	K_3	$2,95 \cdot 10^{-12}$	11,53
H[Sb(OH) ₆]		$4,0 \cdot 10^{-5}$	4,40

Окончание табл. П.8

Формула		K_a	pK_a
H_2O_2		$2,0 \cdot 10^{-12}$	11,70
H_2S	K_1	$1,0 \cdot 10^{-7}$	6,99
	K_2	$2,5 \cdot 10^{-13}$	12,60
$H_2S_2O_3$	K_1	$2,5 \cdot 10^{-1}$	0,60
	K_2	$1,9 \cdot 10^{-2}$	1,72
$H_2S_2O_6$	K_1	$6,3 \cdot 10^{-1}$	0,2
	K_2	$4,0 \cdot 10^{-4}$	3,4
H_2SO_3	K_1	$1,4 \cdot 10^{-2}$	1,85
	K_2	$6,2 \cdot 10^{-8}$	7,20
H_2SO_4	K_1	—	~ -3
	K_2	$1,15 \cdot 10^{-2}$	1,94
H_2Se	K_1	$1,3 \cdot 10^{-4}$	3,89
	K_2	$1,0 \cdot 10^{-11}$	11,0
H_2SeO_3	K_1	$1,8 \cdot 10^{-3}$	2,75
	K_2	$3,2 \cdot 10^{-9}$	8,50
H_2SeO_4	K_1	—	-1,0
	K_2	$1,2 \cdot 10^{-2}$	1,92
H_2Te	K_1	$2,3 \cdot 10^{-3}$	2,64
	K_2	$6,9 \cdot 10^{-13}$	12,16
H_2TeO_3	K_1	$2,7 \cdot 10^{-3}$	2,57
	K_2	$1,8 \cdot 10^{-8}$	7,74
H_6TeO_6	K_1	$2,45 \cdot 10^{-8}$	7,61
	K_2	$1,1 \cdot 10^{-11}$	10,95
	K_3	$1,0 \cdot 10^{-15}$	15
HF		$6,2 \cdot 10^{-4}$	3,21

Формула		K_a	pK_a
HCl		—	~ -7
HBr		—	~ -9
HI		—	~ -10
HClO		$2,95 \cdot 10^{-8}$	7,53
HClO ₂		$1,1 \cdot 10^{-2}$	1,97
HClO ₃		—	~ -1,2
HClO ₄		—	~ -10
HBrO		$2,2 \cdot 10^{-9}$	8,66
HBrO ₃		$2,0 \cdot 10^{-1}$	0,70
HIO		$2,3 \cdot 10^{-11}$	10,64
HIO ₃		$1,7 \cdot 10^{-1}$	0,77
H_5IO_6	K_1	$2,45 \cdot 10^{-2}$	1,61
	K_2	$4,3 \cdot 10^{-9}$	8,33
	K_3	$1,0 \cdot 10^{-15}$	15,0
H_3VO_4	K_1	$1,8 \cdot 10^{-4}$	3,74
	K_2	$3,2 \cdot 10^{-10}$	9,50
	K_3	$4,0 \cdot 10^{-15}$	14,4
$H_2Cr_2O_7$	K_2	$2,3 \cdot 10^{-2}$	1,64
H_2CrO_4	K_1	$1,6 \cdot 10^{-1}$	0,80
	K_2	$3,2 \cdot 10^{-7}$	6,50
H_2MnO_4	K_1	~ 10^{-1}	~1
	K_2	$7,1 \cdot 10^{-11}$	10,15
$H_4[Fe(CN)_6]$	K_3	~ 10^{-2}	~2
	K_4	~ 10^{-4}	~4

Таблица П.9. Логарифмы констант устойчивости комплексных соединений (при 25 °С; $M^{n+} + iL^{\pm m} = [ML_i]^{n\pm im}$)

Центральный атом	$\lg \beta_1$	$\lg \beta_2$	$\lg \beta_3$	$\lg \beta_4$	$\lg \beta_5$	$\lg \beta_6$
Комплексы с аммиаком (NH₃)						
Co ²⁺	1,99	3,50	4,43	5,07	5,13	4,39
Co ³⁺	7,3	14,0	20,1	25,7	30,8	35,21
Fe ²⁺	1,4	2,2	—	3,7	—	—
Ni ²⁺	2,67	4,79	6,40	7,47	8,10	8,01
Ag ⁺	3,32	7,23	—	—	—	—
Cu ⁺	5,93	10,86	—	—	—	—
Cu ²⁺	3,99	7,33	10,06	12,03	11,43	8,9
Zn ²⁺	2,18	4,43	6,93	9,08	9,46	12,75
Cd ²⁺	2,51	4,47	5,77	6,56	6,26	4,56
Hg ²⁺	8,8	17,5	18,5	19,3	—	—
Гидроксокомплексы (OH⁻)						
Li ⁺	0,36	—	—	—	—	—
Be ²⁺	8,60	14,35	18,74	18,57	—	—
Mg ²⁺	2,56	—	—	—	—	—
Ca ²⁺	1,15	2,55	—	—	—	—
Sr ²⁺	0,17	—	—	—	—	—
Ba ²⁺	0,53	1,17	—	—	—	—
Al ³⁺	9,03	18,7	27	33	—	—
Ga ³⁺	11,4	22,1	31,7	39,4	—	—
In ³⁺	10,0	20,18	29,6	33,93	—	—
Tl ⁺	0,82	—	—	—	—	—
Tl ³⁺	13,38	26,43	38,7	41,0	—	—
Sn ²⁺	11,60	20,94	25,39	—	—	—
Pb ²⁺	7,52	10,54	13,95	—	—	—
AsO ⁺	14,33	18,73	20,60	21,2	—	—
Sb ³⁺	6,07	24,3	36,7	40,1	—	—
Bi ³⁺	12,91	24	33,14	34,2	—	—
Sc ³⁺	9,7	18,3	25,9	30	—	—
La ³⁺	3,9	—	—	—	—	—
Ce ³⁺	4,6	—	—	—	—	—

Продолжение табл. П.9

Централь- ный атом	$\lg \beta_1$	$\lg \beta_2$	$\lg \beta_3$	$\lg \beta_4$	$\lg \beta_5$	$\lg \beta_6$
Ce ⁴⁺	12,9	27,7	—	—	—	—
Ti ⁴⁺	18,0	35,2	47,7	58,7	—	—
Zr ⁴⁺	14,58	29,38	43,72	57,85	—	—
Hf ⁴⁺	14,12	27,89	41,47	54,95	—	—
Th ⁴⁺	10,8	21,07	30,3	40,1	—	—
V ³⁺	11,74	21,75	—	—	—	—
VO ₂ ⁺	9,23	25	—	—	—	—
Cr ³⁺	10	18,3	24	28,6	—	—
U ⁴⁺	13,35	25,4	36,2	45,7	—	—
UO ₂ ²⁺	9,2	17,2	25,5	32,4	—	—
Mn ²⁺	3,41	5,8	7,2	7,7	—	—
Fe ²⁺	5,5	7,4	11,0	10,0	—	—
Fe ³⁺	11,8	22,33	30	34,4	—	—
Co ²⁺	4,35	9,2	10,5	—	—	—
Ni ²⁺	4,14	9	12	—	—	—
Pd ²⁺	13,0	25,8	—	—	—	—
Cu ²⁺	6,0	10,7	14,2	16,4	—	—
Ag ⁺	2,3	4,0	5,2	—	—	—
Zn ²⁺	6,04	11,1	13,6	14,8	—	—
Cd ²⁺	3,92	7,65	8,7	8,65	—	—
Hg ₂ ²⁺	9,0	—	—	—	—	—
Hg ²⁺	10,60	21,81	20,9	—	—	—
Цианидные комплексы (CN⁻)						
Co ²⁺	—	—	—	—	—	19,9
Co ³⁺	—	—	—	—	—	64
Ni ²⁺	—	—	22,2	31,0	30,3	—
Cu ⁺	—	24,0	28,6	30,3	—	—
Ag ⁺	—	19,85	20,55	19,42	—	—
Au ⁺	—	38,3	—	—	—	—
Au ³⁺	—	—	—	56	—	—
Zn ²⁺	—	11,07	16,05	19,62	—	—
Cd ²⁺	5,18	9,60	13,92	17,11	—	—

Продолжение табл. П.9

Централь- ный атом	$\lg \beta_1$	$\lg \beta_2$	$\lg \beta_3$	$\lg \beta_4$	$\lg \beta_5$	$\lg \beta_6$
Hg^{2+}	17,0	32,75	36,31	38,97	39,83	40,62
Co^{2+}	—	—	—	—	—	19,9
Co^{3+}	—	—	—	—	—	64
Роданидные комплексы (SCN^-)						
Fe^{2+}	1,31	0,43	—	—	—	—
Fe^{3+}	3,03	4,33	4,63	4,53	4,23	3,23
Ag^+	4,75	8,23	9,45	9,67	—	—
Zn^{2+}	1,57	1,56	1,51	3,02	—	—
Hg^{2+}	—	17,6	20,40	21,20	—	—
Тиосульфатные комплексы ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$)						
Pb^{2+}	2,7	5,13	6,35	7,2	—	—
Cu^+	10,35	12,27	13,71	—	—	—
Cu^{2+}	—	12,29	—	—	—	—
Ag^+	8,82	13,46	14,15	—	—	—
Zn^{2+}	2,29	4,59	—	—	—	—
Hg^{2+}	—	29,86	32,26	33,61	—	—
Фторидные комплексы (F^-)						
Be^{2+}	4,71	8,32	11,12	13,39	—	—
Al^{3+}	7,10	11,98	15,83	18,53	20,20	20,67
TiO^{2+}	6,65	11,74	16,32	20,38	—	—
Fe^{3+}	6,04	10,74	13,74	15,74	16,10	16,10
Хлоридные комплексы (Cl^-)						
Sn^{2+}	1,51	2,24	2,03	1,48	—	—
Pb^{2+}	1,62	2,44	2,04	1,0	—	—
Bi^{3+}	2,43	4,7	5,0	5,6	6,1	6,42
Fe^{3+}	1,45	2,10	1,10	-0,85	—	—
Pt^{2+}	—	11,48	4,48	16,00	—	—
Pd^{2+}	6,1	10,5	12,9	15,5	13,4	11,3
Cu^+	—	5,35	5,63	—	—	—
Ag^+	3,04	5,04	5,04	5,30	—	—
Au^+	—	9,42	—	—	—	—
Au^{3+}	—	—	16,96	21,30	—	—

Окончание табл. П.9

Централь- ный атом	$\lg \beta_1$	$\lg \beta_2$	$\lg \beta_3$	$\lg \beta_4$	$\lg \beta_5$	$\lg \beta_6$
Zn^{2+}	-0,19	0,18	-1,4	-1,52	—	—
Cd^{2+}	2,05	2,60	2,4	1,7	—	—
Hg^{2+}	6,74	13,22	14,17	15,22	—	—
Бромидные комплексы (Br^-)						
Sn^{2+}	0,90	1,73	2,13	1,66	1,98	—
Pb^{2+}	2,23	3,00	2,83	2,93	—	—
Bi^{3+}	2,26	4,45	6,33	7,84	9,42	9,52
Cu^+	—	5,92	—	—	—	—
Ag^+	4,38	7,34	8,00	8,73	8,44	—
Au^+	—	12,46	—	—	—	—
Au^{3+}	—	—	—	31,5	37	—
Zn^{2+}	-0,8	-2,2	-2,9	-2,5	—	—
Cd^{2+}	2,23	3,00	2,83	2,93	—	—
Hg^{2+}	9,05	17,33	19,74	21,00	—	—
Иодидные комплексы (I^-)						
Pb^{2+}	1,26	2,80	3,42	3,92	—	—
Bi^{3+}	2,89	—	—	14,95	16,80	19,1
Cu^+	—	8,85	—	—	—	—
Ag^+	6,58	11,74	13,68	13,10	—	—
Zn^{2+}	-0,47	-1,53	1,26	-0,51	—	—
Cd^{2+}	2,17	3,67	4,34	5,35	5,15	—
Hg^{2+}	12,87	23,82	27,60	29,83	—	—

Таблица П.10. Константы диссоциации слабых оснований (при 25 °C)*

Формула	K_b	$\text{p}K_b$	Формула	K_b	$\text{p}K_b$
$\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	4,75	NH_2OH	$9,6 \cdot 10^{-9}$	8,02
$\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	$9,8 \cdot 10^{-7}$	6,01			

* Константы диссоциации гидроксидов металлов приведены в подразделе «Гидроxoкoмплeксы» таблицы П.9.

Таблица П.11. Ионное произведение воды как функция температуры

$t, ^\circ\text{C}$	K_w	pH при $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-]$	$t, ^\circ\text{C}$	K_w	pH при $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-]$
0	$0,11 \cdot 10^{-14}$	7,48	60	$9,55 \cdot 10^{-14}$	6,51
20	$0,69 \cdot 10^{-14}$	7,08	80	$25,10 \cdot 10^{-14}$	6,30
22	$1,00 \cdot 10^{-14}$	7,00	100	$55,00 \cdot 10^{-14}$	6,13
40	$2,95 \cdot 10^{-14}$	6,77			

Таблица П.12. Плотность растворов кислот и оснований (при 20 °C)

Концентрация, масс. %	$d, \text{г/см}^3$						
	H_2SO_4	HNO_3	HCl	CH_3COOH	KOH	NaOH	NH_3
4	1,027	1,022	1,019	1,0052	1,033	1,046	0,963
8	1,055	1,044	1,039	1,0113	1,065	1,092	0,967
12	1,083	1,068	1,059	1,0171	1,100	1,137	0,953
16	1,112	1,093	1,079	1,0228	1,137	1,181	0,939
20	1,143	1,119	1,100	1,0284	1,176	1,225	0,926
24	1,174	1,145	1,121	1,0337	1,217	1,268	0,913
28	1,205	1,177	1,142	1,0388	1,263	1,310	0,903
32	1,223	1,198	1,163	1,0436	1,310	1,352	0,893
36	1,273	1,225	1,183	1,0481	1,358	1,395	0,884
40	1,307	1,251	—	1,0523	1,411	1,437	—
44	1,342	1,277	—	1,0562	1,460	1,478	—
48	1,380	1,303	—	1,0598	1,511	1,519	—
52	1,419	1,328	—	1,0631	1,564	1,560	—
56	1,460	1,351	—	1,0660	1,616	1,601	—
60	1,503	1,373	—	1,0685	—	1,643	—
64	1,547	1,394	—	1,0707	—	—	—
68	1,594	1,412	—	1,0725	—	—	—
72	1,640	1,429	—	1,0740	—	—	—
76	1,687	1,445	—	1,0747	—	—	—

Окончание табл. П.12

Концен- трация, масс. %	<i>d</i> , г/см ³						
	H ₂ SO ₄	HNO ₃	HCl	CH ₃ COOH	KOH	NaOH	NH ₃
80	1,732	1,460	—	1,0748	—	—	—
84	1,776	1,474	—	1,0742	—	—	—
88	1,808	1,486	—	1,0726	—	—	—
92	1,830	1,496	—	1,0696	—	—	—
96	1,840	1,504	—	1,0644	—	—	—
100	1,838	1,522	—	1,0553	—	—	—

Таблица П.13. Энтальпии атомизации простых веществ в стандартном состоянии (при 25 °С), кДж/моль

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	H 1																	He 0
2	Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 0
3	Na 11	Mg 12											Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 0
4	K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 0
5	Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 0
6	Cs 55	Ba 56	La 57	Hf 58	Ta 59	W 60	Re 61	Os 62	Ir 63	Pt 64	Au 65	Hg 66	Tl 67	Pb 68	Bi 69	Po 70	At 71	Rn 0
6				Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71	
7			Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102	Lr	

Таблица П.14. Энергия одинарной ковалентной связи X—X, кДж/моль

Энергия σ -связи						Энергия π -связи			
H—H 105									
Li—Li 105	Be—Be (208)	B—B 293	C—C 346	N—N 167	O—O 142	F—F 155	C—C 256	N—N 387	O—O 352
Na—Na 72	Mg—Mg (129)	Al—Al	Si—Si 222	P—P 201	S—S 226	Cl—Cl 240		P—P 140	S—S 199
K—K 49	Ca—Ca 105	Ga—Ga 113	Ge—Ge 188	As—As 146	Se—Se 172	Br—Br 190	Ge—Ge 84	As—As 117	Se—Se 100
Rb—Rb 45	Sr—Sr 84	In—In 100	Sn—Sn 146	Sb—Sb 121	Te—Te 126	I—I 149		Sb—Sb 87	Te—Te 92
Cs—Cs 43						At—At 116			

Таблица П.15. Энергия диссоциации и межъядерные расстояния двухатомных молекул и ионов

Молекула	D_0 , кДж/моль	r , нм	Молекула	D_0 , кДж/моль	r , нм
Ag ₂	161	0,25	HCl	431,6	0,127
Al ₂	172	0,247	HF	565,7	0,092
As ₂	(365)*	—	HI	298,3	0,161
Au ₂	226	0,247	HO	427,8	0,097
B ₂	276	0,159	He ₂ ⁺	230	0,108
Br ₂	190,1	0,128	I ₂	148,8	0,267
Br ₂ ⁺	316	—	I ₂ ⁺	250	—
Br ₂ ⁻	82	—	I ₂ ⁻	102	—
C ₂	(605,0)	0,124	K ₂	53,6	0,392
C ₂ ⁺	527	—	Li ₂	99,0	0,267
C ₂ ⁻	696,8	—	Li ₂ ⁺	121	—
CN	801	0,117	N ₂	945,3	0,110
CN ⁺	439	—	N ₂ ⁺	842,7	0,118
CN ⁻	1003	0,114	N ₂ ⁻	744,8	0,125
CO	1070,3	0,128	NO	631,6	0,115
CO ⁺	805,4	—	NO ⁺	1046	0,106
Cl ₂	(242,6)	0,199	Na ₂	71,1	0,309
Cl ₂ ⁺	387,9	0,189	O ₂	493,6	0,121
Cl ₂ ⁻	120	—	O ₂ ⁺	642,3	0,112
Cs ₂	38,0	0,458	O ₂ ⁻	394	0,132
Cu ₂	197	0,222	P ₂	(489,1)	0,189
F ₂	155	0,142	P ₂ ⁺	467	—
F ₂ ⁺	320	0,133	S ₂	(425,5)	0,189
F ₂ ⁻	117	—	S ₂ ⁺	518	—
H ₂	432,1	0,074	S ₂ ⁻	544	—
H ₂ ⁺	255,7	0,106	Se ₂	305,2	0,216
H ₂ ⁻	15	—	Te ₂	259	0,256
HBr	362,5	0,141			

* В скобках приведены значения при 298,15 К

Таблица П.16. Потенциалы ионизации атомов, эВ

	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6
H	13,6	—	—	—	—	—
He	24,6	54,4	—	—	—	—
Li	5,39	75,6	122	—	—	—
Be	9,32	18,2	154	218	—	—
B	8,30	25,1	37,9	259	340	—
C	11,3	24,4	47,9	64,5	392	490
N	14,5	29,6	47,4	77,5	97,9	552
O	13,6	35,1	54,9	77,4	114	138
F	17,4	35,0	62,7	87,1	114	157
Ne	21,6	41,0	63,5	97,1	126	158
Na	5,14	47,3	71,6	98,9	138	172
Mg	7,64	15,0	80,1	109	142	186
Al	5,99	18,8	28,4	120	154	190
Si	8,15	16,3	33,5	45,1	167	205
P	10,5	19,7	30,2	51,4	65,0	220
S	10,4	23,3	34,8	47,3	72,7	88,1
Cl	13,0	23,8	40,2	53,5	67,8	97,0
Ar	15,8	27,6	40,7	59,8	75,0	91,0
K	4,34	31,6	45,7	60,9	82,7	100
Ca	6,11	11,9	50,9	67,1	84,4	109
Sc	6,54	12,8	24,7	73,5	91,7	111
Ti	6,74	13,6	27,5	43,3	99,2	119
V	6,74	14,6	29,3	46,7	65,3	128
Cr	6,77	15,5	30,9	49,1	69,3	90,6
Mn	7,43	15,6	23,3	51,2	72,4	95,3
Fe	8,23	16,2	30,6	54,8	75,0	99,5
Co	7,96	17,1	33,5	51,3	79,5	102
Ni	7,63	18,2	35,2	54,9	75,4	107
Cu	7,73	20,3	36,8	55,2	79,9	103
Zn	9,39	18,0	39,7	59,4	82,6	108
Ga	6,00	20,5	30,7	64,2	—	—
Ge	7,90	15,9	34,2	45,7	93,5	—
As	9,78	18,6	28,3	50,1	62,6	128
Se	9,75	21,2	30,8	42,9	68,3	81,7

Продолжение табл. II.16

	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6
Br	11,8	21,8	36,2	47,3	59,7	88,6
Kr	14,0	24,4	36,9	52,5	64,7	78,5
Rb	4,18	27,3	40,4	52,6	71,0	84,4
Sr	5,70	11,0	43,6	57,0	71,6	90,8
Y	6,38	12,2	20,5	61,8	77,0	93,0
Zr	6,84	13,1	23,0	34,3	81,5	—
Nb	6,88	14,3	25,0	38,2	50,5	103
Mo	7,10	16,1	27,26	46,4	61,2	68,4
Tc	7,28	15,3	29,5	—	—	—
Ru	7,37	16,8	28,5	—	—	—
Rh	7,46	18,1	31,1	—	—	—
Pd	8,34	19,4	32,9	—	—	—
Ag	7,58	21,5	34,8	—	—	—
Cd	8,99	16,9	37,5	—	—	—
In	5,79	18,9	28,0	53,9	—	—
Sn	7,34	14,6	30,5	40,7	72,3	—
Sb	8,62	16,5	25,3	44,1	56,0	108
Te	9,01	18,5	28,0	37,4	58,7	70,7
I	10,4	19,1	33,2	—	—	—
Xe	12,1	21,2	32,1	—	—	—
Cs	3,89	23,1	34,6	—	—	—
Ba	5,21	10,0	35,9	—	—	—
La	5,58	11,1	19,2	49,9	—	—
Ce	5,47	10,8	20,2	36,7	—	—
Pr	5,42	10,5	21,6	39,0	57,5	—
Nd	5,49	10,7	22,1	40,4	60,0	—
Pm	5,56	10,9	22,3	41,1	61,7	—
Sm	5,63	11,1	23,4	41,5	62,7	—
Eu	5,67	11,2	24,9	42,6	63,2	—
Gd	6,14	12,1	20,6	43,9	64,8	—
Tb	5,84	11,5	21,9	39,8	66,5	—
Dy	5,93	11,7	22,8	41,5	62,1	—
Ho	6,02	11,8	22,8	42,5	63,9	—
Er	6,10	11,9	22,7	42,6	65,1	—

Окончание табл. II.16

	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6
Tm	6,18	12,0	23,7	42,7	65,4	—
Yb	6,25	12,2	25,0	43,7	65,6	—
Lu	5,42	13,9	21,0	45,2	66,8	—
Hf	6,78	14,9	23,3	33,3	68,4	—
Ta	7,89	16,2	—	—	—	—
W	8,98	17,7	—	—	—	—
Re	7,88	16,7	—	—	—	—
Os	8,71	16,6	24,9	—	—	—
Ir	9,12	16,6	—	—	—	—
Pt	9,02	18,6	—	—	—	—
Au	9,22	20,5	39,5	—	—	—
Hg	10,44	18,8	34,2	—	—	—
Tl	6,11	20,4	29,8	—	—	—
Pb	7,42	15,0	21,6	42,3	68,8	—
Bi	7,29	16,7	25,6	45,3	56,0	89,3
Po	8,42	19,4	27,3	—	—	—
At	9,22	20,1	—	—	—	—
Rn	10,7	21,8	29,0	—	—	—
Fr	3,94	—	—	—	—	—
Ra	5,28	10,1	—	—	—	—
Ac	5,08	12,1	19,7	—	—	—
Th	6,11	11,5	20,0	28,8	—	—
Pa	5,91	—	—	—	—	—
U	6,11	—	—	—	—	—
Np	6,22	—	—	—	—	—
Pu	6,06	—	—	—	—	—
Am	5,99	—	—	—	—	—
Cm	6,02	—	—	—	—	—
Bk	6,23	—	—	—	—	—
Cf	6,30	—	—	—	—	—
Es	6,42	—	—	—	—	—
Fm	6,50	—	—	—	—	—
Md	6,58	—	—	—	—	—
No	6,65	—	—	—	—	—

Таблица П.17. Криоскопические и эбулиоскопические константы для некоторых растворителей

Вещество	Формула	Криоскопическая константа, °С	Эбулиоскопическая константа, °С
Вода	H ₂ O	1,86	0,52
Бензол	C ₆ H ₆	5,06	2,61
Хлороформ	CHCl ₃	4,9	3,8
Тетрахлорид углерода	CCl ₄	29,8	5,5

Таблица П.18. Состав и температура кипения азеотропных смесей (при давлении 1 атм)

Система	Состав азеотропной смеси, масс. %	Температура кипения, °С
H ₂ O—HF	35,35 (HF)	120
H ₂ O—HCl	20,30 (HCl)	108,6
H ₂ O—HBr	46,85 (HBr)	126,0
H ₂ O—HI	57,00 (HI)	127,0
H ₂ O—HNO ₃	68,00 (HNO ₃)	120,5

Таблица П.19. Энтальпии гидратации ионов в бесконечно разбавленных растворах (при 25 °С)

Ион	$\Delta H_{\text{гидр}}^{\circ}$, кДж/моль	Ион	$\Delta H_{\text{гидр}}^{\circ}$, кДж/моль	Ион	$\Delta H_{\text{гидр}}^{\circ}$, кДж/моль
H ⁺	–1108,76	Sn ⁴⁺	–7644	Mn ²⁺	–1878,6
H ₃ O ⁺	–460,24	Pb ²⁺	–1514,6	Mn ³⁺	–4594
Li ⁺	–531,36	NH ₄ ⁺	–326,35	Fe ²⁺	–1924,6
Na ⁺	–422,59	NO ₃ [–]	–309,62	Fe ³⁺	–4485,3
K ⁺	–338,90	OH [–]	–510,45	Ru ²⁺	–1874
Rb ⁺	–313,80	SCN [–]	–309,62	Os ²⁺	–1857,7
Cs ⁺	–280,33	SO ₄ ^{2–}	–1108,76	Co ²⁺	–2079,4
Mg ²⁺	–1953,94	F [–]	–485,34	Co ³⁺	–4711,2
Ca ²⁺	–1615,02	Cl [–]	–351,46	Ir ²⁺	–1996
Sr ²⁺	–1476,95	ClO ₄ [–]	–225,94	Ni ²⁺	–2138,02
Ba ²⁺	–1338,83	Br [–]	–317,98	Pd ²⁺	–2112,9
Al ³⁺	–4694,5	I [–]	–280,33	Pt ²⁺	–2188,2
Ga ³⁺	–4702,8	Sc ³⁺	–3962	Cu ⁺	–581,6

Окончание табл. П.19

Ион	$\Delta H_{\text{гидр}}^{\circ}$ кДж/моль	Ион	$\Delta H_{\text{гидр}}^{\circ}$ кДж/моль	Ион	$\Delta H_{\text{гидр}}^{\circ}$ кДж/моль
In ³⁺	-4163	Ti ²⁺	-1322	Cu ²⁺	-2120,7
Tl ⁺	-343,09	Ti ³⁺	-4297	Ag ⁺	-489,53
Tl ³⁺	-4117	V ²⁺	-1895	Au ⁺	-644,3
CO ₃ ²⁻	-1389,09	V ³⁺	-4406	Zn ²⁺	-2075,26
CN ⁻	-347,27	Cr ²⁺	-1924,6	Cd ²⁺	-1836,72
Sn ²⁺	-1565	Cr ³⁺	-4623	Hg ²⁺	-1845,14

Таблица П.20. Ионные радиусы, Å

Ион*	Координационное число					
	2	4	6	8	10	12
Li ⁺		0,73	0,90	1,06		
Be ²⁺		0,41	0,59			
B ³⁺		0,25				
C ⁴⁺		0,29				
N ³⁻		1,32				
O ²⁻	1,21	1,24	1,26	1,28		
OH ⁻	1,18	1,21	1,23			
F ⁻	1,15	1,17	1,19			
Na ⁺		1,13	1,16	1,32		1,53
Mg ²⁺		0,71	0,86	1,03		
Al ³⁺		0,53	0,68			
Si ⁴⁺		0,40	0,54			
P ³⁺			0,58			
S ²⁻			1,70			
Cl ⁻			1,67			
K ⁺		1,51	1,52	1,65	1,73	1,78
Ca ²⁺			1,14	1,26	1,37	1,48
Sc ³⁺			0,89	1,01		
Ti ²⁺			1,00			
Ti ³⁺			0,81			
Ti ⁴⁺		0,56	0,75	0,88		

Продолжение табл. П.20

Ион	Координационное число					
	2	4	6	8	10	12
V^{2+}			0,93			
V^{3+}			0,78			
$Cr^{2+}(bc)$			0,94			
$Cr^{2+}(hc)$			0,87			
Cr^{3+}			0,76			
$Mn^{2+}(bc)$		0,80	0,97			
$Mn^{2+}(hc)$			0,81			
$Mn^{3+}(bc)$			0,79			
$Mn^{3+}(hc)$			0,72			
$Fe^{2+}(bc)$		0,77	0,92			
$Fe^{2+}(hc)$			0,75			
$Fe^{3+}(bc)$		0,63	0,79			
$Fe^{3+}(hc)$			0,69			
$Co^{2+}(bc)$		0,72	0,89			
$Co^{2+}(hc)$			0,79			
$Co^{3+}(bc)$			0,75			
$Co^{3+}(hc)$			0,69			
Ni^{2+}		0,69	0,83			
$Ni^{2+}(κ)$		0,63				
$Ni^{3+}(bc)$			0,74			
$Ni^{3+}(hc)$			0,70			
Cu^{+}	0,60	0,74	0,91			
Cu^{2+}		0,71(κ)	0,87			
Zn^{2+}		0,74	0,88	1,04		
Ga^{3+}		0,61	0,76			
Ge^{4+}		0,53	0,67			
As^{3+}			0,72			
As^{5+}		0,48	0,60			
Se^{2-}			1,84			
Br^{-}			1,82			
Rb^{+}			1,66	1,75	1,80	1,86

Продолжение табл. П.20

Ион	Координационное число					
	2	4	6	8	10	12
Sr^{2+}			1,32	1,40	1,50	1,58
Y^{3+}			1,04			
Zr^{4+}		0,73	0,86	0,98		
Nb^{3+}			0,86			
Nb^{4+}			0,82	0,93		
Mo^{3+}			0,83			
Mo^{4+}			0,79			
Tc^{4+}			0,79			
Ru^{3+}			0,82			
Ru^{4+}			0,76			
Rh^{3+}			0,81			
Rh^{4+}			0,74			
Pd^{2+}		0,78(κ)	1,00			
Ag^+	0,81	1,14	1,29	1,42		
$\text{Ag}^+(\kappa)$		1,16				
Cd^{2+}		0,92	1,09	1,24		1,45
In^{3+}		0,76	0,94	1,06		
Sn^{4+}		0,69	0,83	0,95		
Sb^{3+}			0,90			
Te^{2-}			2,07			
I^-			2,06			
Cs^+			1,81	1,88	1,95	2,02
Ba^{2+}			1,49	1,56	1,66	1,75
La^{3+}			1,17	1,30	1,41	1,50
Ce^{3+}			1,15	1,28	1,39	1,48
Pr^{3+}			1,13	1,27		
Nd^{3+}			1,12	1,25		1,41
Pm^{3+}			1,11	1,23		
Sm^{3+}			1,10	1,22		1,38
Eu^{3+}			1,09	1,21		
Gd^{3+}			1,08	1,19		

Окончание табл. II.20

Ион	Координационное число					
	2	4	6	8	10	12
Tb ³⁺			1,06	1,18		
Dy ³⁺			1,05	1,17		
Ho ³⁺			1,04	1,16	1,26	
Er ³⁺			1,03	1,14		
Tm ³⁺			1,02	1,13		
Yb ³⁺			1,01	1,13		
Lu ³⁺			1,00	1,12		
Hf ⁴⁺		0,72	0,85	0,97		
Ta ³⁺			0,86			
Ta ⁴⁺			0,82			
W ⁴⁺			0,80			
Re ⁴⁺			0,77			
Os ⁴⁺			0,77			
Ir ³⁺			0,82			
Ir ⁴⁺			0,77			
Pt ²⁺		0,74(к)	0,94			
Pt ⁴⁺			0,77			
Au ⁺			1,51			
Au ³⁺		0,82(к)	0,99			
Hg ²⁺	0,83	1,10	1,16	1,28		
Tl ³⁺		0,89	1,03	1,12		
Pb ²⁺		1,12	1,33	1,43	1,54	1,63
Pb ⁴⁺		0,79	0,92	1,08		
Bi ³⁺			1,17	1,31		
Po ⁴⁺			1,08	1,22		
As ⁷⁺			0,76			
Fr ⁺			1,94			
Ra ²⁺				1,62		1,84
Ac ³⁺			1,26			
Th ⁴⁺			1,08	1,19	1,27	1,35

* вс — высокоспиновый, нс — низкоспиновый, к — квадратный.

Таблица П.21. Энергия кристаллических решеток, кДж/моль

Анион Катион	F ⁻	Cl ⁻	Br ⁻	I ⁻	O ²⁻	S ²⁻	OH ⁻
Li ⁺	1024	841,8	802,0	748,0	2900	—	854,0
Na ⁺	940,0	774,0	741,0	694,0	—	—	884,5
K ⁺	830,0	703,0	677,5	637,5	—	—	790,5
Rb ⁺	774,0	678,0	654,0	618,0	—	—	766,0
Cs ⁺	732,0	646,0	625,5	592,0	—	—	720,0
NH ₄ ⁺	816,0	640,0	615,0	578,0	—	—	—
Ag ⁺	942,0	892,0	876,0	866,0	2455	—	—
Cu ⁺	—	866,0	829,0	787,0	2720	2580	—
Mg ²⁺	2885	2480	2424	2530	3810	3260	—
Ca ²⁺	2580	2198	2128	2040	3520	3020	—
Sr ²⁺	2430	2110	—	1954	3320	2875	—
Ba ²⁺	2290	1958	1938	1840	3127	2248	—
Cu ²⁺	—	2762	—	—	4130	3725	—
Zn ²⁺	—	2690	2650	2595	4060	3565	—
Cd ²⁺	2770	2502	2480	2358	3820	3358	—

Таблица П.22. Физические и термодинамические свойства неорганических веществ

Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	Плотность, г/см ³	$t_{пл}$, °С *	$t_{кип}$, °С *	Растворимость, г/100 г Н ₂ O *		$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К · моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
					в хол. воде	в гор. воде			
H ₂ (г)	бесцвет., газ	—	-259,2	-252,8	2,14 ⁰ мл	1,6 ¹⁰⁰ мл	0	130,52	0
H(г)	—	—	—	—	—	—	217,9	114,6	203,3
H ⁺ (г)	—	—	—	—	—	—	1536,2	108,8	1517,0
H ⁺ (р-р)	—	—	—	—	—	—	0	0	0
Li	серебристый металл, куб.	0,53	179	1350	реаг.	реаг.	0	28,6	0
Li(г)	—	—	—	—	—	—	160,5	139,6	127,4
LiH	белый или серый, куб.	0,76	~680	~850	реаг.	реаг.	-90,7	20,0	-68,5
LiAlH ₄	белый порошок	0,92	разл. ⁻¹⁵⁰	—	реаг.	—	-117	87,9	-48,4
Li ₂ CO ₃	бесцвет., монокл.	2,11	618	разл.	1,33 ²⁰	0,72 ¹⁰⁰	-1215,6	90,4	-1132,4
Li ₂ O	бесцвет., куб.	2,01	1570	2600	реаг.	реаг.	-595,8	37,9	-562,1
LiOH	белый, тетрагон.	1,43	462	~925	12,4 ²⁵	15,4 ⁸¹	-487,2	42,8	-442,2
LiNO ₃	бесцвет. расплыв., тригон.	2,36	254	разл. ⁶⁰⁰	72,8 ²⁰	194 ⁷⁵	-482,3	105,0	-389,5
Li ₂ SO ₄	бесцвет., монокл.	2,22	860	—	33,7 ²⁰	31 ¹⁰⁰	-1434,4	113,0	-1324,7
LiF	бесцвет., куб.	2,29	845	1670	0,27 ¹⁸	0,135 ³⁵	-612,1	35,9	-584,1

Продолжение табл. П.22

Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	Плотность, г/см ³	$t_{пл}$, °C *	$t_{кип}$, °C *	Растворимость, г/100 г H ₂ O *		$\Delta H_{298}^{р}$, кДж/моль	S_{298}^0 , Дж/(К · моль)	ΔG_{298}^0 , кДж/моль
					в хол. воде	в гор. воде			
LiCl	бесцвет., расплыв., куб.	2,07	613	1360	83,2 ²⁰	128,3 ¹⁰⁰	-408,3	59,3	-384,0
LiBr	белый, расплыв., куб.	3,46	547	1265	155 ¹⁶	254 ⁹⁰	-350,3	66,9	-338,9
LiI	бесцвет., расплыв., куб.	4,06	446	1170	162 ²⁵	437 ⁸⁸	-271,1	75,7	-266,9
Na	серебристый металл, куб.	0,97	97,5	877	реак.	реак.	0	51,5	0
Na(r)	—	—	—	—	—	—	108,3	153,6	77,3
Na ⁺ (r)	—	—	—	—	—	—	606,1	147,9	575,6
Na ⁺ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-239,9	58,91	-262,1
NaN	светло-серый, куб.	1,40	разл. ⁴²⁵	—	реак.	реак.	-56,4	188,0	-38,0
NaNH ₄	белый, куб.	1,07	разл. ^{>800}	—	p.	—	-183,3	101,3	-119,5
NaBO ₂	бесцвет., тригон.	2,34	966	1434	16,4 ⁰	125,2 ¹⁰⁰	-1059,0	73,4	-922,8
Na ₂ B ₄ O ₇	бесцвет., крист.	2,37	741	разл. ¹⁵⁷⁵	1,11 ⁰	52,5 ¹⁰⁰	-3276,6	189,5	-3081,6
NaAlO ₂	белый, аморф.	—	1650	—	p.	p.	-1132,2	70,4	-1066,3
NaCN	белый, куб.	1,60	562	1497	81,8 ³⁵	82,5 ⁵⁵	-89,5	118,5	-80,4

NaCNO	бесцвет., гексагон. иголки	1,94	—	—	p.	p.	-93,6	124,9	-81,4
NaSCN	бесцвет., ромб.	1,73	287	—	166 ²⁵	225 ¹⁰⁰	-410,0	113,0	-362,4
NaHCO ₃	белый, монокл.	2,20	-CO ₂ ¹⁶⁰	—	9,6 ²⁰	23,6 ¹⁰⁰	-947,7	102,0	-851,9
Na ₂ CO ₃	белые крист.	2,53	852	разл.	p.	p.	-1131,0	136,4	-1047,5
Na ₂ CO ₃ · 10H ₂ O	бесцвет., монокл.	1,45	32,5	—	6,95 ⁰	39,4 ³⁰	-4083,6	564,7	-3424,3
Na ₂ SiO ₃	бесцвет., монокл.	2,4	1089	—	p.	92,3 ⁹⁰	-1525,4	113,8	-1427,7
NaN ₃	белый, тригон.	1,85	разл. ²⁷⁵	—	39 ⁰	55 ¹⁰⁰	21,3	70,5	99,9
NaNO ₂	белый, ромб.	2,17	271	разл.	82,9 ²⁰	160 ¹⁰⁰	-359,0	106,0	-295,0
NaNO ₃	бесцвет., ромб., тригон.	2,26	306,8	—	88 ²⁰	176 ¹⁰⁰	-466,7	116,0	-365,9
Na ₃ PO ₄	белые крист.	2,54	1340	—	14,6 ²⁵	94,5 ¹⁰⁰	-1935,5	224,7	-1819
Na ₂ O	белый, расплыв.	2,27	возг. ¹²⁷⁵	—	реак.	реак.	-416,0	75,3	-377,1
Na ₂ O ₂	желтовато-коричневый	2,5	разл. ⁴⁶⁰	—	реак.	реак.	-510,4	94,88	-446,9
NaOH	белый, расплыв.	2,13	320	1378	107 ²⁰	337 ¹⁰⁰	-456,6	64,4	-380,7
Na ₂ S	розово-белый, аморф., куб.	1,86	920	—	18,6 ²⁰	57,2 ⁹⁰	-370,3	77,4	-354,8
Na ₂ SO ₃	бесцвет., гексагон.	2,63	разл.	—	30,7 ²⁵	26,6 ¹⁰⁰	-1090,0	146,0	-1002,0
Na ₂ SO ₄	бесцвет., ромб.	2,70	884	—	52,9 ²⁰	42,5 ¹⁰⁰	-1384,6	149,5	-1266,8
Na ₂ SO ₄ · 10H ₂ O	бесцвет., монокл.	1,46	разл. ^{32,4}	—	19,2 ²⁰ безв.	—	-4324,2	591,9	-3642,9
NaHF ₂	бесцвет., тригон.	—	разл. ²⁷⁰	—	3,25 ²⁰	7,5 ⁹⁰	-902,8	90,7	-806,74

Продолжение табл. П.22

Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	Плотность, г/см ³	$t_{пл}$, °C *	$t_{кип}$, °C *	Растворимость, г/100 г Н ₂ O *		ΔH_{298}^{298} , кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К · моль)	ΔG_{298}° , кДж/моль
					в хол. воде	в гор. воде			
NaF	бесцвет., куб.	2,56	997	1705	4,28 ²⁰	4,96 ⁹⁴	-573,6	51,3	-543,3
NaCl	бесцвет., куб.	2,16	800,8	1413	35,7 ¹⁰	39,2 ¹⁰⁰	-411,1	72,1	-384,0
NaClO ₃	белый, куб.	2,41	255	разл.	100,5 ²⁵	204 ¹⁰⁰	-365,4	129,7	-275,0
NaClO ₄	белый, расплыв.	—	разл. ⁴⁸²	—	169 ⁰	330 ¹⁰⁰	-382,8	140,0	-282,0
NaBr	бесцвет., куб.	3,21	750	1392	94,6 ²⁵	121,2 ¹⁰⁰	-361,4	86,82	-349,3
NaBrO ₃	бесцвет., куб.	3,34	381	—	39,5 ²⁵	90,8 ¹⁰⁰	-342,8	130,5	-252,6
NaI	бесцвет., куб.	3,66	651	1300	179,3 ²⁰	302 ¹⁰⁰	-287,9	98,5	-284,6
Na ₂ CrO ₄	желтый, ромб.	2,72	—	—	31,7 ⁰	126 ¹⁰⁰	-1333	174,5	-1232
К	серебристый металл, куб.	0,86	63,9	765	реаг.	реаг.	0	71,5	0
К(г)	—	—	—	—	—	—	89,16	160,2	60,7
К ⁺ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-251,2	102,5	-281,3
КН	белый, куб.	1,43	разл.	—	реаг.	реаг.	-63,4	50,2	-34,0
КВН ₄	крист.	—	—	—	—	—	-948,8	106,2	-159,4
К ₂ B ₄ O ₇	крист.	—	—	—	p.	21,3 ³⁵	-3334,2	187,4	-2998,8
КВF ₄	крист.	—	—	—	—	—	-1881,5	50,2	-1778,2
КАН ₄	крист.	—	—	—	—	—	-166,5	128,8	-99,5

KCN	белый, расплав., куб.	1,52	634	—	71,6 ²⁵	122 ¹⁰⁰	-112,5	137,0	-103,9
KHCO ₃	бесцвет., монокл.	2,17	разл. ^{>100}	—	33,5 ²⁰	76 ⁷⁰	-959,3	128,7	-860,6
K ₂ CO ₃	бесцвет., монокл.	2,43	891	разл.	111 ²⁰	155 ¹⁰⁰	-1146,1	156,3	-1059,8
KN ₃	бесцвет.	2,04	350	—	46,5 ^{10,5}	105,8 ¹⁰⁰	1,4	86,0	77,0
KNO ₂	бесцвет., расплав., монокл.	1,92	387	—	280 ⁰	413 ¹⁰⁰	-370,3	117,0	-218,6
KNO ₃	бесцвет., ромб. или тригон.	2,11	334	—	31,6 ²⁰	245 ¹⁰⁰	-493,2	132,93	-393,1
K ₂ O	бесцвет., куб.	2,32	—	—	реакт.	реакт.	-363,2	94,1	-322,1
K ₂ O ₂	белый порошок	—	490	—	—	—	-495,8	113,0	-429,8
KO ₂	желтые пластинки	2,14	~400	разл.	реакт.	реакт.	-280	46,9	-209
KOH	белый, расплав.	2,04	410	1320	95,3 ⁰	178 ¹⁰⁰	-425,8	79,3	-380,2
K ₂ S	расплав., куб.	1,80	471	—	p.	в. p.	-428,4	111,3	-404,2
K ₂ SO ₃ · 2H ₂ O	желтовато-белый, монокл.	2,35	разл. ¹⁰⁰	—	p.	p.	-1116,7	156,5	-1025
K ₂ SO ₄	бесцвет., ромб. или гексагон.	2,66	1069	>2000	7,4 ⁰	24,1 ¹⁰⁰	-1433,7	175,7	-1316,4
KHF ₂	бесцвет., тетрагон.	2,35	238,7	разл. ^{>400}	24,5 ⁰	114 ⁸⁰	-928,5	104,6	-860,5
KF	бесцвет., расплав., куб.	2,48	857	1500	96 ²⁵	150 ¹⁰⁰	-567,4	66,6	-537,7
KCl	бесцвет., куб.	1,98	768	1406	34,2 ²⁰	56,2 ¹⁰⁰	-435,9	82,6	-408,0
KClO ₃	бесцвет., монокл.	2,32	356	разл. ⁴⁰⁰	7,3 ²⁰	56 ¹⁰⁰	-391,2	143,0	-289,9

Продолжение табл. П.22

Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	Плотность, г/см ³	$t_{пл}$, °C *	$t_{кип}$, °C *	Растворимость, г/100 г H ₂ O *		$\Delta H_{298}^{ж}$, кДж/моль	S_{298}^o , Дж/(К · моль)	ΔG_{298}^o , кДж/моль
					в хол. воде	в гор. воде			
KClO ₄	бесцвет., ромб. или куб.	2,52	610	—	0,76 ⁰	22,2 ¹⁰⁰	-430,1	151,0	-300,4
KBr	бесцвет., куб.	2,75	730	1380	52,8 ⁰	104,8 ¹⁰⁰	-392,5	95,9	-378,8
KBrO ₃	бесцвет., тригон.	3,27	разл. ⁻³⁷⁰	—	3,1 ⁰	49,75 ¹⁰⁰	-332,2	149,2	-243,5
KI	бесцвет., куб.	3,11	680	1323	127,8 ⁰	206,4 ¹⁰⁰	-327,6	110,79	-324,1
KIO ₃	бесцвет., монокл.	3,89	560	—	4,6 ⁰	32,3 ¹⁰⁰	-508,4	151,46	-425,5
KIO ₄	бесцвет., тетрагон.	3,62	—	разл. ³⁰⁰	0,17 ⁰	7,87 ¹⁰⁰	-464,9	157,7	-391,2
K ₂ CrO ₄	желтый, ромб.	2,73	968,3	—	62,9 ²⁰	79,2 ¹⁰⁰	-1382,8	193,0	-1286,0
K ₂ Cr ₂ O ₇	оранжево-красные крист.	2,68	398	разл. ^{>500}	4,7 ⁰	102 ¹⁰⁰	-2033,0	291,2	-1866,0
K ₂ MnO ₄	зеленый, ромб.	—	разл. ¹⁹⁰	—	реаг.	реаг.	-1184,1	—	—
KMnO ₄	пурпурный, ромб.	2,70	разл. ^{>240}	—	6,36 ²⁰	32 ⁷⁵	-813,4	171,7	-713,8
KReO ₄	белый, тетрагон.	4,89	550	1375	1,2 ²⁵	14 ¹⁰⁰	-1100,3	167,7	995,7
Rb	серебристый металл, куб.	1,53	38,8	705	реаг.	реаг.	0	76,2	0
Rb(r)	—	—	—	—	—	—	81,9	169,9	54,0

RbH	белый, куб.	2,0	разл. ^{>200}	—	реаг.	реаг.	-54,31	—	-33,9
Rb ₂ CO ₃	бесцвет., расплыв.	—	разл. ⁴⁷⁰	—	223 ²⁰	в. р.	-1128,0	—	-1046,0
RbNO ₃	бесцвет., тригон., куб.	3,11	310-316	—	53,5 ²⁰	452 ¹⁰⁰	-489,7	140,6	-390,4
Rb ₂ O	желтоватый, куб.	3,72	—	—	реаг.	реаг.	-330,1	108,8	-292,9
RbOH	белый, расплыв.	3,20	301	—	180 ¹⁵	в. р.	-413,8	79,5	-364,0
RbF	бесцвет., куб.	—	760	1410	300 ¹⁸	—	-549,3	75,3	-523,4
RbCl	бесцвет., куб.	2,76	715	1380	91,2 ²⁰	138,9 ¹⁰⁰	-430,6	91,6	-405,8
RbBr	бесцвет., куб.	3,35	682	1340	89 ⁰	191 ¹⁰⁰	-389,2	112,3	-378,1
RbI	бесцвет., куб.	3,55	6389	1300	124,7 ⁰	281 ¹⁰⁰	-328,4	118,0	-325,5
Cs	серебристый металл, куб.	1,87	28,5	688	реаг.	реаг.	0	84,4	0
Cs(r)	—	—	—	—	—	—	78,1	175,5	50,9
Cs ⁺ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-247,7	133,1	-282,0
CsH	белый, куб.	2,7	разл.	—	реаг.	реаг.	-49,9	79,0	-29,3
Cs ₂ CO ₃	бесцвет., расплыв.	—	разл. ⁶¹⁰	—	260,5 ¹⁵	в. р.	—	188,7	-1039,0
CsNO ₃	бесцвет., гексагон. или куб.	3,68	414	разл.	9,16 ⁰	196,8 ¹⁰⁰	-494,2	149,0	-395,0
Cs ₂ O	оранжево-красный, гексагон.	4,36	разл.	—	реаг.	реаг.	-317,6	123,8	-274,5
Cs ₂ O ₂	желтые иглы	4,25	400	разл. ⁶⁵⁰	реаг.	реаг.	-402,5	118,0	-327,2

Продолжение табл. П.22

Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	Плотность, г/см ³	$t_{пл}$, °C *	$t_{кип}$, °C *	Растворимость, г/100 г H ₂ O *		$\Delta H_{298}^{H_0}$ кДж/моль	S_{298}^0 Дж/(К · моль)	$\Delta G_{298}^{H_0}$ кДж/моль
					в хол. воде	в гор. воде			
CsO ₂	желтый, тетрагон.	3,77	600	разл.	реаг.	реаг.	-289,5	—	-211,3
CsOH	желтовато-серый	3,67	272,3	—	385,5 ¹⁵	303 ²⁰	-406,7	93,3	-362,3
Cs ₂ S	расплав., крист.	—	—	—	в. р.	в. р.	-364,0	146,0	-326,0
Cs ₂ SO ₄	бесцвет., ромб.	4,24	1010	—	167 ⁰	220 ¹⁰⁰	-1642,6	205,9	-1300,0
CsF	бесцвет., куб.	3,59	682	1250	в. р.	—	-530,9	79,0	-505,4
CsCl	бесцвет., куб.	3,97	638	1300	186,5 ²⁰	270,5 ¹⁰⁰	-433,0	90,0	-404,2
CsBr	бесцвет., куб.	4,44	627	1300	123,3 ²⁵	—	-394,6	121,0	-383,3
CsI	бесцвет., куб.	4,51	621	1280	44 ⁰	151 ⁶⁰	-351,3	130,0	-333,5
Be	светло-серый металл, гексагон.	1,85	1280	2471	н. р.	н. р.	0	9,5	0
Be(r)	—	—	—	—	—	—	326,5	136,2	288,8
Be ²⁺ (p-p)	—	—	—	—	—	—	—	-196,6	-381,2
BeH ₂	белый порошок	—	разл.	—	реаг.	реаг.	125,0	173,0	115,3
Be ₂ C	желтый, куб.	1,90	>2100	—	реаг.	реаг.	-90,8	16,3	-88,3
BeCO ₃	белые крист.	—	—	—	0,18 ⁰	—	-982,0	67,3	-944,7
BeO	бесцвет., гексагон.	3,01	2550	~3900	н. р.	н. р.	-598,0	14,1	-582,0

$\text{Be}(\text{OH})_2$	белый, аморф. или крист.	1,91	разл. ¹³⁸	—	сл. р.	сл. р.	-907,0	55,6	-818,0
BeSO_4	бесцвет., крист.	2,44	разл. ⁵⁵⁰	—	35,3 ⁰	85,9 ¹⁰⁰	-1197,0	90,0	-1088,0
BeF_2	бесцвет., тетрагон., гексагон.	2,01	803	1159	в. р.	в. р.	-1010,0	45,0	-941,0
BeCl_2	бесцвет. расплыв. иглы	1,90	404	500	68,5 ⁰	р.	-494,0	63,0	-468,0
BeI_2	бесцвет. иглы	4,32	480	590	реак.	реак.	-165,0	130,0	-210,0
Mg	серебристый металл, гексагон.	1,74	651	1103	н. р.	н. р.	0	32,7	0
$\text{Mg}(\text{r})$	—	—	—	—	—	—	146,4	148,5	111,9
$\text{Mg}^{2+}(\text{p-p})$	—	—	—	—	—	—	-467,0	138,0	-455,1
MgCO_3	белый, тригон.	3,04	разл. ^{>350}	—	сл. р.	—	-1113	65,7	-1029,3
$\text{Mg}(\text{NO}_3) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	бесцвет., монокл.	1,46	89,9	—	232 ¹⁵	в. р.	-2499,6	366,0	-2115,6
MgO	белый, куб.	3,58	2640	3600	—	—	-601,8	26,9	-569,6
$\text{Mg}(\text{OH})_2$	бесцвет., тригон.	2,35	разл.	—	—	0,004 ¹⁰⁰	-924,7	63,14	-833,7
MgSO_4	бесцвет., ромб.	2,66	разл. ¹¹²⁷	—	33,7 ²⁰	50 ¹⁰⁰	-1301,4	91,6	-1158,7
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	бесцвет., ромб. или монокл.	1,64	-6 H_2O ¹⁵⁰	-7 H_2O ²⁰⁰	107 ²⁰	215 ¹⁰⁰	-3384,0	—	-2868,0
MgF_2	бесцвет., тетрагон.	2,9	1263	2239	н. р.	н. р.	-1113,0	57,2	-1071,0
MgCl_2	бесцвет., гексагон.	2,32	708	1412	54,6 ²⁰	73,4 ¹⁰⁰	-641,1	89,8	-591,6

Продолжение табл. П.22

Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	Плотность, г/см ³	$t_{пл}$, °C	$t_{кип}$, °C	Растворимость, г/100 г H ₂ O *		$\Delta H_{298}^{H_0}$, кДж/моль	S_{298}^0 , Дж/(K · моль)	ΔG_{298}^0 , кДж/моль
					в хол. воде	в гор. воде			
MgBr ₂	бесцвет., расплыв., тригон.	3,72	~700	—	101 ²⁰	125,4 ¹⁰⁰	-517,6	117,0	—
MgBr ₂ · 6H ₂ O	бесцвет., гексагон. или монокл.	—	разл. ¹⁶⁵	—	390 ²⁰	в. р.	-2407,0	397,0	-2054,0
Ca	серебристый металл	1,55	850	1439	реаг.	реаг.	0	41,6	0
Ca(r)	—	—	—	—	—	—	177,3	154,8	143,6
Ca ²⁺ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-543,0	-55,2	-553,0
CaH ₂	бесцвет., ромб.	1,7	816 (в H ₂)	разл.	реаг.	реаг.	-188,7	42,0	-149,8
Ca(BO ₂) ₂	бесцвет., ромб.	—	1154	—	сл. р.	—	-2031,0	105,2	-1924,2
Ca(AlO ₂) ₂	бесцвет., ромб. или монокл.	3,67	1600	—	реаг.	реаг.	-2327,9	144,3	-2210,2
CaC ₂	бесцвет., тетрагон. или куб.	2,22	~2300	—	реаг.	—	-62,8	70,3	-67,8
CaCO ₃	кальцит, бесцвет., тригон.	2,71	1339 (100 атм)	разл.	н. р.	н. р.	-1206,9	92,9	-1128,8
CaSiO ₃	бесцвет., монокл.	2,90	1540	—	н. р.	—	-1636	82,0	-1550,8
Ca ₃ N ₂	коричневый порошок	2,63	900	—	реаг.	реаг.	-431,8	105,0	-368,6

$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	бесцвет., рас- плав.	2,22	$-\text{H}_2\text{O}^{109}$	разл. ²⁰³	1,8 ³⁰	реаг.	—	—	—
CaHPO_4	бесцвет.	—	—	—	0,02 ²⁵	реаг.	-1815,6	111,5	-1682,4
$\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	бесцвет., монокл.	2,31	—	разл.	сл. р.	реаг.	-2405,2	189,6	-2156,2
$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	белый, тригон.	3,14	1670	—	н. р.	—	-4123,6	236,0	-3887,6
CaO	бесцвет., куб.	3,37	2580	2850	реаг.	реаг.	-635,5	39,7	-604,2
CaO_2	белый, тетрагон.	—	разл. ²⁷⁵	—	сл. р.	—	-651,7	43,1	-598,0
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	бесцвет., гекса- гон.	2,24	$-\text{H}_2\text{O}^{580}$	разл.	0,148 ²⁵	0,077 ¹⁰⁰	-986,6	76,1	-896,8
CaS	бесцвет., куб.	2,18	>2000	разл.	реаг.	реаг.	-482,7	56,5	-477,7
$\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	бесцвет., монокл. или тригон.	2,67	$-0,5\text{H}_2\text{O}^{163}$	—	сл. р.	сл. р.	-1577,8	130,6	-1437,8
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	бесцвет., монокл.	2,31	$-1,5\text{H}_2\text{O}^{128}$	$-2\text{H}_2\text{O}^{163}$	сл. р.	сл. р.	-2024,0	194,3	-1798,7
CaF_2	бесцвет., куб.	3,18	1360	2500	н. р.	н. р.	-1214,6	68,9	-1161,9
CaCl_2	бесцвет., рас- плав.	2,51	772	>1600	74,5 ²⁰	159 ¹⁰⁰	-795,0	113,6	-750,2
$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	бесцвет., рас- плав., тригон.	1,68	29,92	$-4\text{H}_2\text{O}^{30}$ $-6\text{H}_2\text{O}^{200}$	535 ²⁰	в. р.	-2599,6	285,1	-2198,9
CaBr_2	бесцвет., рас- плав. иглы	3,35	760	806	142 ²⁰	312 ¹⁰⁵	-674,9	130,0	-656,1
$\text{CaBr}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	бесцвет., тригон.	—	38,2	$-6\text{H}_2\text{O}^{250}$	952 ²⁰	в. р.	-2507,8	304,7	-2118,9

Продолжение табл. П.22

Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	Плотность, г/см ³	$t_{пл}$, °C *	$t_{кип}$, °C *	Растворимость, г/100 г H ₂ O *		$\Delta H_{298}^{ж}/\text{моль}$	$S_{298}^{\circ}/(\text{К} \cdot \text{моль})$	$\Delta G_{298}^{\circ}/\text{моль}$
					в хол. воде	в гор. воде			
CaI ₂	желтовато-белые пластинки	3,96	575	716	209 ²⁰	426 ¹⁰⁰	-534,7	142,0	-529,0
CaTiO ₃	бесцвет., ромб.	4,10	—	—	н. р.	н. р.	-1654,8	—	-1569,4
Ca(CrO ₂) ₂	крист.	—	—	—	р.	р.	-2068,6	120,9	-1936,4
CaCrO ₄	крист.	—	—	—	н. р.	н. р.	-1380,0	133,9	-1308,8
CaMoO ₄	бесцвет., тетрагон.	4,38	—	—	н. р.	—	—	—	-1446,4
CaWO ₄	бесцвет., тетрагон.	6,06	—	—	н. р.	—	-1683,6	151,0	-1533,9
Sr	серый или светло-желтый металл	2,54	757	1357	реак.	реак.	0	53,1	0
Sr(r)	—	—	—	—	—	—	164,0	135,1	130,9
Sr ²⁺ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-545,5	-26,3	-557,3
SrCO ₃	бесцвет., ромб.	3,70	1497 (60 атм)	-CO ₂ ¹³⁴⁰	н. р.	н. р.	-1218,4	97,1	-1137,6
Sr(NO ₃) ₂	бесцвет., крист.	2,87	разл. ²⁴⁰	—	64,7 ¹⁹	139 ¹⁰⁰	-975,9	195,5	-778,2
SrO	светло-серый (бесцвет.), куб.	4,6	2430	—	реак.	реак.	-590,4	54,4	-559,8
Sr(OH) ₂	белый порошок	3,62	375	разл. ⁷¹⁰	р.	р.	-959,4	86,6	-870,3

SrS	светло-серый, куб.	3,71	2000	—	сл. р.	реаг.	-452,3	68,2	-447,7
SrSO ₄	бесцвет., ромб.	3,96	1580	разл.	н. р.	н. р.	-1451,0	119,7	-1334,3
SrF ₂	бесцвет., куб.	4,24	1400	2460	0,011 ⁰	0,012 ²⁷	-1209,5	81,6	-1160,6
SrCl ₂	бесцвет., куб.	3,05	873	1250	52,7 ²⁰	102 ¹⁰⁰	-828,4	117,0	-781,2
SrI ₂	бесцвет., крист.	4,25	507	разл.	178 ²⁰	380 ¹⁰⁰	-566,9	159	-559,8
Ba	серебристый металл, куб.	3,5	710	1634	реаг.	реаг.	0	60,7	0
Ba(r)	—	—	—	—	—	—	174,6	170,1	144,8
Ba ²⁺ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-538,0	9,6	-561,0
BaCO ₃	белый, крист.	4,33	1740 ⁹⁰ атм	разл. ¹⁴⁵⁰	н. р.	н. р.	-1219,0	112,0	1139,0
BaSiO ₃	бесцвет., монокл. или ромб.	4,40	1604	—	н. р.	реаг.	-1590,1	109,6	-1525,9
Ba ₂ SiO ₄	крист.	—	—	—	—	—	-2265,6	176,1	-2145,6
Ba(NO ₃) ₂	бесцвет., куб.	3,24	575	разл.	9 ²⁰	34,4 ¹⁰⁰	-991,0	214,0	-795,0
BaO	бесцвет., куб. или гексагон.	5,72	1920	2000	1,5 ⁰	90,8 ⁸⁰	-558,1	70,3	-528,4
BaO ₂	белый (серый), тетрагон.	4,96	450	-0,5O ₂ ⁸⁰⁰	сл. р.	реаг.	-629,7	65,7	-587,9
Ba(OH) ₂	бесцвет., монокл.	4,5	408	разл.	1,65 ⁰	101,4 ⁸⁰	-950,0	124,0	-886,0
BaS	бесцвет., куб.	4,25	>2000	—	реаг.	реаг.	-4460,5	78,3	-456,0
BaSO ₄	бесцвет., ромб.	4,5	1350	—	н. р.	н. р.	-1465,0	132,0	-1353,0
Ba ₃ (PO ₄) ₂	белый, тригон.	4,1	~1727	—	н. р.	—	-3960,2	355,6	-3951,4

Продолжение табл. П.22

Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	Плотность, г/см ³	$t_{пл}$, °C	$t_{кип}$, °C	Растворимость, г/100 г H ₂ O *		$\Delta H_{298}^{р}$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К · моль)	ΔG_{298}° , кДж/моль
					в хол. воде	в гор. воде			
BaF ₂	бесцвет., куб.	4,66	1353	2220	0,162 ³⁰	сл. р.	-1200,0	96,2	-1149
BaCl ₂	бесцвет., ромб. или куб.	3,92	960	1830	31,2 ⁰	57,1 ¹⁰⁰	-859,1	126	-811,4
Ba(ClO ₃) ₂ · H ₂ O	бесцвет., монокл.	3,18	-H ₂ O ¹²⁰	—	21,8 ⁰	119 ¹⁰⁰	—	—	—
Ba(ClO ₃) ₂	бесцвет.	—	—	—	—	—	—	—	—
Ba(ClO ₄) ₂	крист.	—	разл. ⁴⁰⁰	—	в. р.	в. р.	-859,0	234,3	-556,9
BaBr ₂	бесцвет., ромб.	4,78	847	—	90 ⁰	149 ¹⁰⁰	-756,5	150	-732
BaI ₂	бесцвет., ромб.	4,92	740	—	166,7 ⁰	246,7 ⁷⁰	-605,4	167	-619
BaTiO ₃	крист.	—	—	—	н. р.	н. р.	-1663,6	108,0	-1574,9
BaCrO ₄	желтый, ромб.	4,50	—	—	н. р.	н. р.	-1368	155,6	-1325,2
В	желтовато-коричневый, тетрагон. или ромб.	2,34	2075	3860	н. р.	н. р.	0	5,8	0
B(r)	—	—	—	—	—	—	544,0	163,3	517,6
B(OH) ₄ ⁻	раствор	—	—	—	—	—	-1345,0	101,1	-1153,7
BF ₄ ⁻ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-1572,6	176,4	-1483,0
B ₂ H ₆ (r)	бесцвет., газ	—	-166	-92,5	реак.	реак.	38,5	232,0	89,6

BN	белый, гексагон.	2,20	~300 ^(давл.)	—	н. р.	сл. реаг.	-252,8	14,8	-226,8
B ₂ O ₃ (аморфн.)	стекловидный	1,80	577	—	сл. р.	р.	-1254,0	80,8	-1193,7
H ₃ BO ₃	бесцвет., гексагон., трикл.	1,43	разл. ¹⁸⁵	—	2,7 ⁰	39 ¹⁰⁰	-1094,0	88,7	-968,8
B ₂ S ₃	белый, стекл.	1,55	310	—	реаг.	реаг.	-252,0	106,3	-238,1
BF ₃	бесцвет., газ	—	-128	-101	106 ⁰ мл	реаг.	-1137,0	254,37	-1120,0
BCl ₃	бесцвет., жидк.	1,43	-107	12,4	реаг.	—	-427,2	205	-387,2
BBr ₃	бесцвет., жидк.	2,65	-46	90,9	реаг.	реаг.	—	228,5	-237,5
Al	серебристый металл, куб.	2,70	660,1	2348	н. р.	н. р.	0	0	—
Al(г)	—	—	—	—	—	—	326,3	164,4	288,7
Al ³⁺ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-530,0	-301,0	-490,5
Al(OH) ₄ ⁻ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-1507,5	89,7	-1307,5
AlF ₆ ³⁻ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-2519,2	24,0	-2276,4
NaAlH ₄	крист.	—	—	—	—	—	-114,5	123,9	-48,53
Al ₄ C ₃	желтый	2,36	разл. ^{>2200}	—	реаг.	реаг.	-209,0	89,0	-196,0
AlN	бесцвет., гексагон.	3,05	2200 (4 атм)	возг. ²⁰⁰⁰	реаг.	реаг.	-318,0	20,2	-287,4
Al ₂ O ₃	бесцвет., гексагон. или куб.	3,5	2010	~2700	н. р.	н. р.	-1676,0	50,9	-1582,0
Al(OH) ₃	белый, монокл.	2,42	-H ₂ O ^{>180}	—	н. р.	н. р.	-1315,0	70,1	-1157,0

Продолжение табл. П.22

Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	Плотность, г/см ³	$t_{пл}$, °С *	$t_{кип}$, °С *	Растворимость, г/100 г Н ₂ O *		$\Delta H_{298}^{H_0}$, кДж/моль	S_{298}^0 , Дж/(К · моль)	ΔG_{298}^0 , кДж/моль
					в хол. воде	в гор. воде			
Al ₂ S ₃	желтый, гексагон.	2,02	1100	исп. ¹⁵⁰⁰	реаг.	реаг.	-723,4	96,0	-492,5
Al ₂ (SO ₄) ₃	белый порошок	2,71	разл. ⁷⁷⁰	—	31,2 ⁰	89,0 ¹⁰⁰	-3442,2	239,2	-3101,0
NH ₄ Al(SO ₄) ₂ · 12H ₂ O	бесцвет., куб.	1,64	93,5	-10H ₂ O ¹²⁰ -12H ₂ O ²⁰⁰	15 ²⁰	р.	-5946,9	686,2	-4938,5
AlF ₃	бесцвет., тригон.	3,07	1040	1256	0,5 ²⁵	1,67 ¹⁰⁰	-1510,0	66,5	-1432,0
Na ₃ AlF ₆	бесцвет., монокл.	2,90	1000	—	сл. р.	—	—	238,5	-3140,7
AlCl ₃	белый	2,44	возг. ^{179,7}	—	44,9 ⁰	448,6 ⁸⁰	-704,2	109,3	-628,6
AlCl ₃ · 6H ₂ O	бесцвет., расплыв., монокл.	2,40	—	разл.	р.	в. р.	-2693,4	318,2	-2262,8
NaAlCl ₄	бесцвет., расплыв. порошок	—	185	—	р.	р.	-1142,8	188,3	-1041,8
AlBr ₃	бесцвет., расплыв.	3,01	97	255	р.	р.	-513,4	180,2	-490,6
AlI ₃	светло-коричневый, расплыв.	3,98	180	360	р.	р.	-308,0	189,5	-304,0
Ga	серебристый металл, ромб.	5,90	29,7	2230	н. р.	н. р.	0	41,1	0

Ga(r)	—	—	—	—	—	—	271,7	—	233,2
Ga ³⁺ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-215,8	-327,6	-161,78
Ga ₂ O ₃	белый	6,48	1740	—	н. р.	н. р.	-1089,0	—	-998,2
Ga(OH) ₃	белый, студени- стый	—	разл. > ⁴²⁰	—	н. р.	н. р.	-1014,6	84,5	-831,8
Ga ₂ S ₃	желтый, куб. или гексагон.	3,65	1255	—	реаг.	реаг.	-569,0	—	—
GaF ₃	белый порошок	4,47	>1000	—	0,002	—	—	83,7	-941,4
GaCl ₃	белые расплыв. иглы	2,47	77,9	201,2	в. р.	в. р.	-524,7	133,4	-492,8
In	серебристо-белый металл	7,30	156,2	2000	н. р.	н. р.	0	57,8	0
In(r)	—	—	—	—	—	—	—	173,7	203,5
In ³⁺ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-182,4	-253,7	-98,4
In ₂ O ₃	желтый, аморф. или куб.	7,18	разл. > ⁸⁵⁰	—	н. р.	н. р.	-925,9	107,9	-831,9
In(OH) ₃	белый, куб.	—	-H ₂ O < ¹⁵⁰	—	н. р.	н. р.	-760,0	106,7	-761,6
In ₂ (SO ₄) ₃	светло-серый, рас- плыв., монокл.	—	разл. > ⁶⁰⁰	—	р.	в. р.	-2725,5	302,1	-2385,7
InCl	желтые расплыв. крист.	4,19	225	550	реаг.	реаг.	-186,2	95,0	-164,0
InCl ₃	белые расплыв. крист.	3,45	285(лавл.)	возг.	166 ²	374 ⁸⁰	-537,2	138,0	-460,0

Продолжение табл. П.22

Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	Плотность, г/см ³	$t_{пл}, ^\circ\text{C}^*$	$t_{кип}, ^\circ\text{C}^*$	Растворимость, г/100 г H ₂ O *		ΔH_{298}° , кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К · моль)	ΔG_{298}° , кДж/моль
					в хол. воде	в гор. воде			
Tl	серебристо-белый металл	11,8	303,5	1472	н. р.	н. р.	0	64,2	0
Tl ₂ O	черный, тригон.	—	300	разл. ¹⁸⁶⁵	в. р.	в. р.	-67,4	161,1	-153,1
Tl ₂ O ₃	черный, аморф. или гексагон.	10,2	717	в Tl ₂ O ⁸⁷⁵	н. р.	н. р.	-390,4	148,1	-321,4
TlOH	светло-желтые иглы	—	разл. ¹³⁹	—	25,4 ⁰	148 ¹⁰⁰	-233,5	255,2	-190,6
Tl(OH) ₃	коричневый, гексагон.	—	—	—	н. р.	н. р.	-516,6	102,1	—
TlF	бесцвет., ромб.	8,4	327	655	78,6 ¹⁵	в. р.	-327	95,7	-306,2
TlCl	бесцвет., куб.	7,00	427	720	0,32 ²⁰	2,38 ¹⁰⁰	-204,1	111,5	-185,0
TlCl ₃	гексагон. пластинки	—	25	разл.	в. р.	—	-311,3	—	-290,8
TlBr	желтый (белый), куб.	7,56	460	815	0,05 ²⁵	0,25 ⁶⁸	-172,7	122,6	-167,4
C (графит)	серый, гексагон.	2,25	возг. ³⁶⁰⁰	~4200	н. р.	н. р.	0	5,7	0
C(r)	—	—	—	—	—	—	712,5	158,0	659,7
CN ⁻ (p-p)	—	—	—	—	—	—	151,2	96,4	171,6

Продолжение табл. П.22

Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	Плотность, г/см ³	$t_{пл}, ^\circ\text{C}^*$	$t_{кип}, ^\circ\text{C}^*$	Растворимость, г/100 г H ₂ O *		ΔH_{298}° , кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К · моль)	ΔG_{298}° , кДж/моль
					в хол. воде	в гор. воде			
SiF ₆ ²⁻ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-2399,0	126,9	-2210,9
SiH ₄	бесцвет., газ	—	-185	-112	реак.	реак.	34,7	204,6	57,2
Si ₂ H ₆	бесцвет., газ	—	-132,5	-14,5	реак.	реак.	79,9	274,5	126,9
SiC	сине-черные крист.	3,22	>2700	—	н. р.	н. р.	-66,8	16,6	-60,4
SiO ₂ (кварц)	бесцвет., гексагон.	2,65	~1500	2230	н. р.	н. р.	-908,3	42,7	-854,2
H ₂ SiO ₃	белый, аморф.	2,1	—	—	н. р.	н. р.	-1189,1	—	-1019,1
SiS ₂	белый (серый), ромб.	—	—	—	реак.	реак.	-156,1	90,5	-158,6
SiF ₄	бесцвет., газ	—	-77 ^(2 атм)	-65 ¹⁸¹⁰	реак.	реак.	-1614,9	282,6	-1572,5
SiCl ₄	бесцвет., жидк.	1,48	-70	57,6	реак.	реак.	-687,8	239,7	-598,3
Ge	светло-серый металл, куб.	5,32	936	2700	н. р.	н. р.	0	31,3	0
Ge(r)	—	—	—	—	—	—	376,5	167,7	335,8
GeH ₄	бесцвет., газ	—	-165	-89,5	—	—	90,8	217,1	113,2
GeO	серо-черные крист.	—	возг. >700	—	сл. р.	—	-255,0	50,2	-226,8

GeO ₂	белый, тригон.	4,70	1116	—	0,43 ²⁰	1,0 ¹⁰⁰	-554,7	55,3	-500,8
GeS	желтоватый, аморф., ромб.	3,31	530	827	0,24	сл. р.	-70,1	66,0	-71,0
GeS ₂	белый, ромб.	2,94	800	1530	0,45	сл. р.	-38,4	78,3	-39,9
GeF ₄	бесцвет., газ	—	—	возг. ⁻³⁶	—	реак.	-1190,0	303,0	-1150,0
GeCl ₄	бесцвет., жидк.	1,87	-49,6	83,1	реак.	реак.	-569,0	251,0	-497,0
GeCl ₄	бесцвет., газ	—	—	—	—	—	-504,6	347,7	-466,0
Sn(β)	белый металл, ромб.	6,52	231,91	2600	н. р.	н. р.	0	51,6	0
Sn(α)	серый металл, куб.	5,75	ф. п. в β ¹³	—	—	—	-2,6	44,2	-0,13
Sn(r)	—	—	—	—	—	—	302,1	168,4	267,3
Sn ²⁺ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-10,5	-22,7	-27,3
Sn ⁴⁺ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-2,43	-226,1	-2,4
SnH ₄	бесцвет., газ	—	-150	-52,6	—	—	162,3	228,7	187,8
SnO	черный, тетрагон.	6,44	разл. ^{>700}	—	н. р.	н. р.	-286,0	56,5	-256,9
SnO ₂	белый, тетрагон.	6,95	разл. ¹¹²⁷	—	н. р.	н. р.	-580,8	52,3	-519,9
Sn(OH) ₂	крист.	—	—	—	—	—	-506,3	87,7	-491,6
SnS	буро-черный, тетрагон.	5,08	882	—	н. р.	—	-110,2	77,0	-108,3
SnS ₂	желтый, тригон.	4,5	разл.	—	н. р.	—	-82,5	87,5	-74,1
SnSO ₄	белые крист.	—	разл. ^{<360}	—	19 ²⁰	18,1 ¹⁰⁰	-887,0	—	—

Продолжение табл. П.22

Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	Плотность, г/см ³	$t_{пл}$, °С *	$t_{кип}$, °С *	Растворимость, г/100 г Н ₂ O *		$\Delta H_{298}^{H_2O}$, кДж/моль	$S_{298}^{H_2O}$, Дж/(К · моль)	$\Delta G_{298}^{H_2O}$, кДж/моль
					в хол. воде	в гор. воде			
Sn(SO ₄) ₂	бесцвет., крист.	—	—	—	в. р.	реаг.	-1650,0	155,2	-1451,0
SnCl ₄	бесцвет., дымящая жидк.	2,23	-33	113,7	р., реаг.	реаг.	-528,9	299,6	-457,7
Pb	серебристый мягкий металл, куб.	11,34	327,3	1751	н. р.	н. р.	0	64,8	0
Pb(r)	—	—	—	—	—	—	195,6	175,3	162,2
PbCO ₃	бесцвет., ромб.	6,6	разл. ³¹⁵	—	н. р.	реаг.	-699,6	131,0	-625,9
Pb(NO ₃) ₂	бесцвет., куб.	4,53	разл. ⁴⁷⁰	—	52,2 ²⁰	127 ¹⁰⁰	-451,7	217,9	-256,9
PbO	желтый (красный), тетрагон.	9,53	890	1473	н. р.	—	-219,3	66,2	-189,1
Pb ₃ O ₄	красно-оранжевый	—	—	—	н. р.	—	-723,4	211,3	-606,2
PbO ₂	коричневый, ромб., тетрагон.	9,37	разл. ²⁹⁰	—	н. р.	н. р.	-276,6	74,9	-218,3
Pb(OH) ₂	белый, аморф., гексагон.	—	разл. ¹⁴⁵	—	н. р.	сл. р.	-512,5	—	-451,3
PbS	сине-серый, куб.	7,5	1114	—	н. р.	—	-100,4	91,2	-98,8
PbSO ₄	бесцвет., ромб.	6,2	разл. ¹⁰⁰⁰	—	н. р.	н. р.	-920,6	148,7	-813,8
PbCl ₂	бесцвет., ромб.	5,85	501	956	0,673 ⁰	3,25 ¹⁰⁰	-359,8	134,3	-314,1

PbCl_4	желтая маслянистая жидк.	3,18	-15	взр. ¹⁰⁵	реаг.	реаг.	—	—	—
PbI_2	желтый, гексагон.	6,16	393	868	0,07 ²⁰	0,436 ¹⁰⁰	-175,2	175,4	-173,6
PbCrO_4	желтый, монокл.	6,12 ¹⁵	844	разл.	н. р.	—	-910,9	152,7	-819,6
N_2	бесцвет., газ	—	-210,0	-195,8	2,3 ⁰ мл	0,8 ⁶⁰ мл	0	199,9	0
$\text{N}(\text{r})$	—	—	—	—	—	—	472,8	153,2	455,5
$\text{NH}_4^+(\text{p-p})$	—	—	—	—	—	—	-132,4	114,4	-79,5
$\text{NH}_3^-(\text{p-p})$	—	—	—	—	—	—	-207,5	147,3	-111,7
NH_3	бесцвет., газ	—	-77,8	-33,5	56,2 ²⁰	18,4 ⁵⁶	-46,2	192,6	-16,7
$\text{N}_2\text{H}_4(\text{ж})$	бесцвет.	1,01	1,5	113,5	∞	∞	50,5	121,4	149,2
$\text{N}_2\text{H}_4(\text{r})$	бесцвет.	—	—	—	—	—	95,4	238,4	159,3
$\text{HN}_3(\text{ж})$	бесцвет.	1,13	-80	36	∞	∞	264,0	140,6	327,2
$\text{HN}_3(\text{r})$	бесцвет.	—	—	—	—	—	294,0	238,9	328,0
NH_2OH	бесцвет., ромб.	1,20	33,5	56,5 ²²	p.	реаг.	-115	66,5	-17,4
NH_4SCN	бесцвет., расплыв., монокл.	1,30	149,6	разл. ¹⁷⁰	120 ⁰	431 ⁷⁰	-82,0	261,1	10,5
NH_4NO_2	желтовато-белый	1,69	разл.	—	180,1 ^{19,5}	реаг.	-256,1	—	—
NH_4NO_3	бесцвет., ромб.	1,72	169,6	разл. ²¹⁰	122 ⁰	600 ⁸⁰	-365,4	151,0	-183,8
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	бесцвет., ромб.	1,77	разл. ^{>350}	—	70,1 ⁰	102 ¹⁰⁰	-1180,0	220,0	-901,3
NH_4Cl	бесцвет., куб.	1,53	возг. ^{337,6}	—	29,4 ⁰	78,6 ¹⁰⁰	-314,2	95,8	-203,2
NH_4ClO_4	бесцвет., ромб.	1,95	разл.	—	12 ⁰	74,2 ⁸⁵	-295,9	184,3	-88,8

Продолжение табл. П.22

Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	Плотность, г/см ³	$t_{пл}$, °С	$t_{кип}$, °С	Растворимость, г/100 г Н ₂ O *		ΔH_{298}^{298} , кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К · моль)	ΔG_{298}° , кДж/моль
					в хол. воде	в гор. воде			
NH ₄ Br	бесцвет., куб.	2,40	возг.	—	59,5 ⁰	134,7 ¹⁰⁰	-270,1	112,9	-174,7
(NH ₄) ₂ CrO ₄	желтый, монокл.	1,91	разл. ¹⁸⁰	—	24,7 ⁰	70,1 ⁷⁵	-1182,4	167,78	-995,8
(NH ₄) ₂ Cr ₂ O ₇	оранжевый, монокл.	2,15	разл.	—	35,6 ²⁰	115 ⁸⁰	-1799,1	—	—
NH ₄ VO ₃	бесцвет., (желтоватый), ромб.	2,33	разл.	—	4,8 ²⁰	17,8 ⁵⁰	-1051,0	140,6	-886,2
N ₂ O(г)	бесцвет., газ или жидк.	—	-90,8	-89,5	130,0 ⁰	54,4 ²⁵	82,1	224,6	104,2
NO(г)	бесцвет. газ, синяя жидк., синий тверд.	—	-163,7	-151,8	7,38 ⁰	2,6 ¹⁰⁰	90,3	210,6	86,6
N ₂ O ₃ (г)	бесцвет. газ, синяя жидк.; белые крист.	—	-102	разл. ^{3,5}	реаг.	реаг.	83,3	307,3	140,6
N ₂ O ₄ (ж.)	желтая жидк.; бесцвет., куб.	1,49	-11,2	20,7	реаг.	реаг.	9,0	220,0	98,0
N ₂ O ₄ (г)	бесцвет.	—	—	—	—	—	9,6	303,7	98,4
NO ₂ (г)	красно-бурый	—	—	—	—	—	33,0	240,2	51,5
N ₂ O ₅	бесцвет., гексагон., ромб.	1,64	возг. ^{32,3}	—	реаг.	реаг.	-42,7	178,4	114,2

[illegible]

Продолжение табл. П.22

Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	Плотность, г/см ³	$t_{пл}$, °C	$t_{кип}$, °C	Растворимость, г/100 г H ₂ O *		ΔH_{298}^{298} , кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К · моль)	ΔG_{298}° , кДж/моль
					в хол. воде	в гор. воде			
P(r)	—	—	—	—	—	—	314,6	163,1	278,3
H ₂ PO ₄ ⁻ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-1302,5	90,37	-1135,1
HPO ₄ ²⁻ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-1298,7	-36,8	-1094,1
H ₂ P ₂ O ₇ ²⁻ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-2278,6	175,7	-2015,0
PH ₃	бесцвет., самовоспл. газ	—	-133,8	-87,8	27 ²⁰ мл	—	5,4	210,1	13,4
P ₄ O ₆	белый, расплыв., монокл.	2,13	23,8	173	реак.	реак.	-1640,0	—	—
P ₄ O ₁₀	белый, расплыв., монокл.	2,39	563 ^(лавл.)	возг. ³⁴⁷	реак.	реак.	-2984,0	228,8	-2697,8
HPO ₃	бесцвет., расплыв., стекл.	2,2	возг.	—	реак.	реак.	-976,9	—	—
H ₃ PO ₄	бесцвет., расплыв., ромб.	1,83	42,35	-0,5H ₂ O ²¹³	548 ²⁰	в. р.	-1279,0	110,5	-1119,1
POF ₃	бесцвет., газ	—	-39,1	—	реак.	реак.	-1197,3	284,9	-1148,9
POCl ₃	бесцвет., дымящая жидк.	1,67	1,2	105	реак.	реак.	-597,1	222,5	-521,3
PF ₃	бесцвет., газ	—	-151,6	-101,8	реак.	реак.	-956,5	272,6	-935,7

PF ₅	бесцвет., газ	—	-94	-84,6	реак.	реак.	-1593,0	296,0	-1517,2
PCl ₃ (ж)	бесцвет., дымящая	1,56	-94	76	реак.	реак.	-311,7	—	—
PCl ₃ (г)	бесцвет.	—					-287,0	311,7	-260,5
PCl ₅	желтовато-белый, тетрагон.	2,11	167 ^{давл.}	возг. ^{>159}	реак.	реак.	—	—	—
PCl ₅ (г)	бесцвет.	—	—	—	—	—	-366,0	364,5	-305,4
PBr ₃ (ж)	бесцвет., дымящая	2,85	-40	172,9	реак.	реак.	-184,0	240,2	-175,7
PBr ₃ (г)	бесцвет.	—					-132,0	348,0	-155,7
PBr ₅	желтый, ромб.	—	разл. ^{<100}	разл. ¹⁰⁶	реак.	реак.	-184,0	240,2	-175,7
As (серый)	серый, тригон.	5,73	~817 ^(36 атм)	возг. ⁶¹²	н. р.	н. р.	0	36,6	0
As(г)	—	—	—	—	—	—	288,7	175,1	142,2
AsO ₄ ³⁻ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-880,0	-163,0	-648,0
AsH ₃	бесцвет., газ	—	-116,9	-62,3	20 ²⁰ мл	—	66,4	223,0	68,9
As ₄ O ₆	белый, аморф. или стекл.	3,74	315	457,2	2,05 ²⁵	8,18 ⁹⁸	-1331,6	245,0	-1178,8
As ₂ O ₅	белый, аморф.	4,09	разл. ³¹⁵	—	65,8 ²⁰	76,7 ¹⁰⁰	-924,9	105,4	-782,4
As ₂ S ₃	красный (желтый), монокл.	3,43	300	707	н. р.	сл. р.	-159,0	163,6	-158,0
AsF ₃ (ж)	бесцвет.	2,66	-13	56,3	реак.	реак.	—	—	—
AsF ₃ (г)	бесцвет.	—					-920,6	289,0	-907,7
AsF ₅	бесцвет., газ	—	-80,8	-52,9	реак.	реак.	-1236,5	—	-1172,8

Продолжение табл. П.22

Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	Плотность, г/см ³	$t_{пл}, ^\circ\text{C}^*$	$t_{кип}, ^\circ\text{C}^*$	Растворимость, г/100 г H ₂ O *		ΔH_{298}° , кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К · моль)	ΔG_{298}° , кДж/моль
					в хол. воде	в гор. воде			
AsCl ₃ (ж)	бесцвет., маслянистая	2,16	-18	130	реаг.	реаг.	—	—	—
AsCl ₃ (г)	бесцвет.	—	—	—	—	—	-305,0	221,2	-268,4
AsBr ₃	бесцвет., ромб.	3,40	31	221	реаг.	реаг.	-197,5	159,0	-161,7
AsI ₃	красный, тригон.	4,39	142	403	сл. р.	реаг.	-58,2	163,6	-65,8
Sb	серебристо-белый металл	6,68	627	1625	н. р.	н. р.	0	45,7	0
Sb(г)	—	—	—	—	—	—	268,6	180,0	228,5
SbH ₃	бесцвет., газ	—	-88,5	-17	—	—	—	—	—
Sb ₂ O ₃	серый, ромб.	5,67	655	1425	сл. р.	сл. р.	—	—	—
Sb ₂ O ₅	желтый, куб.	3,78	-O ₂ ³⁸⁰	—	0,3	—	-1007,5	125,1	-864,7
Sb ₂ S ₃	серые крист.	—	—	—	—	—	-155,7	181,6	-156,1
SbCl ₃	бесцвет., ромб.	3,14	73,4	218,6	988 ²⁵	∞^{100}	-381,2	183,0	-322,5
SbBr ₃	бесцвет., ромб.	4,15	97	280	реаг.	реаг.	—	—	—
SbI ₃	красный, тригон., монокл.	4,77	167	401	реаг.	реаг.	—	—	—
Bi	серебристо-белый металл	9,78	271,3	1430	н. р.	н. р.	0	56,9	0

Bi(r)	—	—	—	—	—	—	207,1	186,9	159,6
Bi ³⁺ (p-p)	—	—	—	—	—	—	81,0	-175,0	91,9
Bi ₂ O ₃	желтый, ромб.	8,9	820	1890	н. р.	н. р.	-577,8	151,0	-497,3
Bi(OH) ₃	белый, аморф. порошок	4,36	-H ₂ O ¹⁰⁰	—	н. р.	реак.	-711,5	118,0	-580,3
Bi ₂ S ₃	черно-коричневый, ромб.	6,5	разл. ⁶⁸⁵	—	н. р.	—	-155,6	200,4	-152,9
Bi ₂ (SO ₄) ₃	бесцвет., иглы	5,08	разл. ^{>418}	—	реак.	реак.	-2554,0	—	-2583,3
BiCl ₃	белый, расплыв.	4,75	230	440	реак.	реак.	-379,0	172,0	-313,1
BiOCl	бесцвет., тетрагон.	7,72	—	—	сл. р.	—	-371,4	102,6	-231,2
BiI ₃	серо-черный, тригон.	5,64	408	разл. ⁵⁰⁰	н. р.	реак.	-108,9	234,0	-175,4
O ₂ (г)	бесцвет. газ, голубая жидк.	—	-218,8	-182,97	4,89 ⁰ мл	2,09 ⁵⁰ мл	0	205,0	0
O(r)	—	—	—	—	—	—	246,8	160,9	231,8
O ₃ (г)	бесцвет. газ, темно-синяя жидк.	—	-251,4	-111,9	49,4 ⁰	—	142,3	238,8	162,7
OH ⁻ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-230,2	-10,9	-157,2
H ₂ O(крист.)	бесцвет.	0,92	0,0	100,0	—	—	-291,8	—	—
H ₂ O(ж)	бесцвет.	1,00	—	—	—	—	-285,8	70,1	-237,2
H ₂ O(r)	бесцвет.	—	—	—	—	—	-241,8	188,7	-228,6
H ₂ O ₂	бесцвет., жидк.	—	—	—	—	—	-187,8	109,5	-120,4

Продолжение табл. П.22

Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	Плотность, г/см ³	$t_{пл}$, °С *	$t_{кип}$, °С *	Растворимость, г/100 г Н ₂ O *		ΔH_{298}^{298} , кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К · моль)	ΔG_{298}° , кДж/моль
					в хол. воде	в гор. воде			
S (ромб.)	желтый, ромб.	2,07	112,8	444,6	н. р.	н. р.	0	31,9	0
S (монокл.)	желтый, монокл.	1,95	119,25	444,6	н. р.	н. р.	0,38	32,6	0,19
S(r)	—	—	—	—	—	—	273,0	167,7	232,4
S ₂ (r)	—	—	—	—	—	—	127,6	228,2	78,6
S ₈ (r)	—	—	—	—	—	—	101,9	444,2	45,9
S ² (p-p)	—	—	—	—	—	—	35,8	-26,8	92,5
SO ₃ ²⁻ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-635,5	-29,3	-485,2
SO ₄ ²⁻ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-910,8	20,1	-744,9
H ₂ S	бесцвет., газ	—	-85,7	-60,8	291 ²⁰ мл	186 ⁴⁰ мл	-21,0	205,7	-33,8
SO ₂ (ж)	бесцвет.	—	-75,5	-10,1	—	—	-331,1	—	—
SO ₂ (r)	бесцвет.	—	—	—	22,8 ⁰ мл	2,1 ⁹⁰ мл	-296,9	248,1	-300,2
SO ₃	бесцвет., крист.	1,92	16,83	44,9	реаг.	реаг.	-454,5	5,3	-369,0
SO ₃ (ж)	бесцвет.	—	—	—	—	—	-439,0	122,0	-368,0
SO ₃ (r)	бесцвет.	—	—	—	—	—	-396,1	256,4	-370,0
H ₂ SO ₄	бесцвет., вязкая жидк.	1,83	10,37	330	∞	∞	-814,2	156,9	-690,3
SOCl ₂ (ж)	бесцвет.	1,65	-105	74,8	реаг.	реаг.	-246,8	—	—

Продолжение табл. П.22

Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	Плотность, г/см ³	$t_{пл}$, °C *	$t_{кип}$, °C *	Растворимость, г/100 г H ₂ O *		$\Delta H_{298}^{H_0}$, кДж/моль	S_{298}^0 , Дж/(К · моль)	ΔG_{298}^0 , кДж/моль
					в хол. воде	в гор. воде			
TeF ₆	бесцвет., газ	—	-37,6	-35,5	реаг.	реаг.	-1323,0	337,3	-1226,4
F ₂	зеленовато-желтый, газ	—	-223	-188,1	реаг.	реаг.	0	202,9	0
F(r)	—	—	—	—	—	—	79,5	158,7	62,4
F ⁻ (r)	—	—	—	—	—	—	-259,7	145,5	-266,6
F ⁻ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-331,7	-13,8	-277,9
HF ₂ ⁻ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-642,3	113,6	-576,7
HF(r)	бесцвет., газ или жидк.	0,99	-87,2	19,5	в. р.	в. р.	-270,9	173,7	-272,8
Cl ₂	желтовато-зеленый, газ	—	-101,3	-34,7	0,7 ²⁰	0,2 ⁸⁰	0	222,9	0
Cl(r)	—	—	—	—	—	—	121,3	165,1	105,3
Cl ⁻ (r)	—	—	—	—	—	—	-233,6	153,2	-239,9
Cl ⁻ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-167,2	56,5	-131,4
ClO ⁻ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-110,1	33,0	-36,6
ClO ₂ ⁻ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-69,0	100,4	14,6
ClO ₃ ⁻ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-98,3	163,2	-2,6

Продолжение табл. П.22

Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	Плотность, г/см ³	$t_{пл}, ^\circ\text{C}^*$	$t_{кип}, ^\circ\text{C}^*$	Растворимость, г/100 г H ₂ O *		ΔH_{298}° , кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К · моль)	ΔG_{298}° , кДж/моль
					в хол. воде	в гор. воде			
BrF(г)	красно-коричневый газ; красная жидк.	—	-33	20	реаг.	реаг.	-42,5	228,9	-57,7
BrF ₃	светло-желтая, жидк.	2,84	8,8	125,7	реаг.	реаг.	-303,1	178,1	-242,9
BrF ₅ (ж)	бесцвет.	2,47	-61,4	40,4	реаг.	реаг.	—	—	—
BrF ₅ (г)	бесцвет.	—					-428,9	319,2	-350,3
I ₂	фиолетово-черный с металлическим блеском, ромб.	4,94	113,7	182,8	0,028 ²⁰	0,45 ¹⁰⁰	0	116,1	0
I ₂ (г)	—	—	—	—	—	—	62,4	260,6	19,4
I(г)	—	—	—	—	—	—	106,3	178,8	69,5
I ⁻ (г)	—	—	—	—	—	—	-195,0	167,4	-221,0
I ⁻ (р-р)	—	—	—	—	—	—	-55,9	109,4	-51,7
HI(г)	бесцвет.	—	-50,8	-35,4	в. р.	в. р.	26,6	206,5	1,78
HI(р-р)	—	—	—	—	—	—	-55,2	111,3	-51,5
IF	газ	—	—	—	—	—	-125,0	235,9	-127,1
IF ₅ (ж)	бесцвет.	3,5	9,4	98	реаг.	реаг.	—	—	—

Продолжение табл. П.22

Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	Плотность, г/см ³	$t_{пл}$, °C *	$t_{кип}$, °C *	Растворимость, г/100 г H ₂ O *		ΔH_{298}^{298} , кДж/моль	S_{298}^0 , Дж/(К · моль)	ΔG_{298}^{298} , кДж/моль
					в хол. воде	в гор. воде			
Sc(г)	—	—	—	—	—	—	343,1	174,7	302,2
Sc ₂ O ₃	белый, куб.	3,86	—	—	н. р.	н. р.	-1908,6	77	-1917,5
Y	серо-черный металл	4,34	1525	2780	реак.	реак.	0	46,0	0
Y(г)	—	—	—	—	—	—	426,8	—	384,9
Y ₂ O ₃	бесцвет., куб.	4,84	2410	4300	н. р.	—	-1904,0	99,2	-1800,0
Y(OH) ₃	светло-желтые крист. (студ.)	—	разл.	—	н. р.	н. р.	-1412,5	96,3	-1290,0
YCl ₃	монокл.	—	857	разл.	р.	р.	-982,4	136,8	-900
La	серебристо-серый металл	6,15	887	3370	реак.	реак.	0	57,3	0
La(г)	—	—	—	—	—	—	416,7	182,3	379,5
La ₂ O ₃	белый, тригон., куб.	6,51	2320	4200	н. р.	реак.	-1793,1	128,4	-1705,8
La ₂ (SO ₄) ₃	бесцветный крист. порошок	3,60	разл. ¹¹⁵⁰	—	2,14 ²⁵	0,69 ¹⁰⁰	-3932,1	—	-3598,2
LaCl ₃	бесцвет., расплыв., гексагон.	3,84	855	1672	92,8 ⁰	170 ⁹²	-1870,7	144,3	-1028,8

Ас	серебристый металл, куб.	10,1	1050	~3300	реаг.	реаг.	0	62,8	0
As ₂ O ₃	белый, гексагон.	9,19	—	—	—	—	-2050,2	133,9	-1958,1
Ti	серебристо-серый металл	4,54	1660	3170	н. р.	н. р.	0	30,6	0
Ti(г)	—	—	—	—	—	—	471,1	180,2	426,5
TiH ₂	крист.	—	—	—	—	—	-144,3	29,7	-105,1
TiC	серый, куб.	4,93	3140	4300	н. р.	н. р.	-209,0	24,2	-205,7
TiN	желтый, куб.	5,43	2927	—	н. р.	н. р.	-336,8	30,1	-308,1
TiO	желтый (черный), куб.	4,88	—	—	—	—	-526,3	34,8	-496,9
Ti ₂ O ₃	фиолетово-черный или красный, тригон.	4,48	разл. ²¹³⁰	—	н. р.	н. р.	-1518,0	77,3	1431,0
TiO ₂ (рутил)	бесцвет., тетрагон.	4,26	разл. ¹⁶⁴⁰	—	н. р.	н. р.	-943,6	50,3	-888,6
H ₂ TiO ₃	белый, аморф. порошок	—	—	—	н. р.	н. р.	—	—	-1058,5
TiF ₄	белый аморф. порошок	2,80	—	284	реаг.	реаг.	-1649,3	133,9	-1559,2
TiCl ₂	светло-коричневый (черный), тригон.	3,06	возг. в H ₂	—	реаг.	реаг.	-516,7	105,8	-472,7

Продолжение табл. П.22

Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	Плотность, г/см ³	$t_{пл}$, °C *	$t_{кип}$, °C *	Растворимость, г/100 г Н ₂ O *		$\Delta H_{298}^{H_2O}$, кДж/моль	$S_{298}^{H_2O}$, Дж/(К · моль)	$\Delta G_{298}^{H_2O}$, кДж/моль
					в хол. воде	в гор. воде			
TiCl ₃	темно-фиолетовый, расплыв., тригон.	2,65	разл. ⁴⁴⁰	—	р.	р.	-719,6	130,1	-654,0
TiCl ₄ (ж)	бесцвет. (светло-желтая)	1,73	-23,0	136,5	р.	реак.	-804,2	252,8	-737,4
TiCl ₄ (г)	—	—	—	—	—	—	-763,2	352,2	-726,1
TiBr ₄	желтый, расплыв., куб.	2,6	38	220	реак.	реак.	-619,2	243,5	-592,0
TiI ₄	красный, куб.	4,40	150	377,1	в. р.	реак.	-386,6	246	-381,6
TiI ₄ (г)	—	—	—	—	—	—	-287,0	433,0	-337,7
Zr	светло-серый металл, гексагон.	6,49	1830	4225	н. р.	н. р.	0	39,0	0
Zr(г)	—	—	—	—	—	—	608,4	181,2	566,0
ZrC	серый, куб.	6,70	3492	5100	н. р.	н. р.	-206,7	33,3	-197,4
ZrO ₂	белый, гексагон., куб., тетрагон.	5,73	2680	—	н. р.	н. р.	-1100,6	50,4	-1042,8
ZrOCl ₂	крист.	—	—	—	—	—	-986,6	—	-992,4
ZrOCl ₂ · 8H ₂ O	бесцвет., тетрагон., иглы	1,55	-6H ₂ O ¹⁵⁰	-8H ₂ O ²¹⁰	в. р.	реак.	-3468,0	—	-2989,0

ZrF ₄	белый, монокл.	4,43	возг.	разл.	сл. р.	реак.	-1911,3	104,6	-1809,9
ZrCl ₄	белый, куб.	2,80	возг. ^{>300}	—	реак.	реак.	-979,8	181,4	-889,3
Hf	серебристо-белый металл, гексагон. или куб.	13,1	2222	5400	н. р.	—	0	43,5	0
Hf(r)	—	—	—	—	—	—	702,9	186,8	656,9
HfC	белый, куб.	12,2	3887	—	—	—	-217,1	40,1	-205,6
HfO ₂	белый, куб.	9,68	2780	—	н. р.	н. р.	-1117,5	59,3	-1061,1
HfF ₄	бесцвет., монокл.	7,13	возг. ⁸⁰⁰	—	н. р.	н. р.	-1930,0	113,0	-1830,0
HfCl ₄	бесцвет., куб.	—	434 давл.	возг. ³¹⁵	—	—	-990,0	192,0	-901,0
V	светло-серый металл, куб.	6,11	1900	3330	н. р.	н. р.	0	28,9	0
V(r)	—	—	—	—	—	—	55,3	182,2	469,5
V ²⁺ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-221,9	-114,3	-218,1
V ³⁺ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-257,9	-217,5	-242,8
VO ²⁺ (p-p)	—	—	—	—	—	—	—	-108,8	-456,1
VN	бурый, куб.	6,04	2050	—	н. р.	—	-217,1	37,3	-191,2
VO	светло-серый, куб.	5,6	~2000	—	н. р.	н. р.	-431,8	33,6	-402,6
V ₂ O ₃	черный, тригон.	4,84	1970	—	—	—	-1219,1	98,3	-1139,4
VO ₂	синий, тетрагон.	4,26	>1500	—	н. р.	н. р.	-720,0	51,6	-665,0
V ₂ O ₅	красно-желтый, ромб.	3,36	670	разл. ^{>700}	0,07 ²⁵	0,07 ¹⁰⁰	-1552,0	131,0	-1421,2

Продолжение табл. П.22

Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	Плотность, г/см ³	$t_{пл}$, °C *	$t_{кип}$, °C *	Растворимость, г/100 г H ₂ O *		$\Delta H_{298}^{H_2O}$, кДж/моль	$S_{298}^{H_2O}$, Дж/(K · моль)	$\Delta G_{298}^{H_2O}$, кДж/моль
					в хол. воде	в гор. воде			
VF ₂	крист.	—	—	—	—	—	-837,4	77,5	-791,3
VF ₅	бесцвет. или желтые крист.	2,18	возг. ^{111.2}	—	р.	—	-1480,9	191,9	-1378,4
VCl ₂	зеленые расплыв. крист.	3,23	1325	—	реаг.	реаг.	-452,2	97,1	-406,1
VCl ₃	розовые расплыв. крист.	3,00	разл.	—	реаг.	реаг.	-582,4	131,0	-516,5
VCl ₄	темно-красная жидк.	1,87	-25,7	148,5	реаг.	—	-569,8	259,0	-505,6
Nb	светло-серый металл, куб.	8,55	2500	4840	н. р.	н. р.	0	36,6	0
Nb(r)	—	—	—	—	—	—	742,7	186,1	698,0
Nb ₂ O ₅	белый, ромб.	4,5	1512	—	н. р.	н. р.	-1898,0	137,2	-1764,1
NbF ₅	бесцвет., монокл.	3,92	79,0	233	в. р.	реаг.	-1813,8	157,3	-1698,7
NbCl ₅	светло-желтые иглы	2,75	205	250	реаг.	реаг.	-797,5	226,0	-687,7
Ta	серо-черный металл, куб.	16,6	2850	~5300	н. р.	н. р.	0	41,5	0
Ta(r)	—	—	—	—	—	—	782,0	185,1	739,2

Ta_2O_5	бесцвет., ромб.	8,73	разл. ¹⁴⁷⁰	—	н. р.	н. р.	-2045,1	143,0	-1910,0
TaF_5	бесцвет., тетрагон.	4,74	95,1	229,5	р.	—	-1903,6	170,0	-1790,8
TaCl_5	светло-желтые крист.	3,68	220	242	реак.	реак.	-857,9	238,0	-750,5
Cr	серый металл, куб. или гексагон.	7,16	1875	2480	н. р.	н. р.	0	23,6	0
$\text{Cr}(\text{r})$	—	—	—	—	—	—	397,5	174,2	352,6
$\text{Cr}^{2+}(\text{p-p})$	—	—	—	—	—	—	-139,0	41,9	-183,4
$\text{Cr}^{3+}(\text{p-p})$	—	—	—	—	—	—	-236,1	-215,6	-223,2
$\text{Cr}(\text{CO})_6$	бесцвет., ромб.	1,77	возг.	разл. ¹³⁰	—	—	-1077,4	314,0	-970,4
$\text{Cr}(\text{CO})_6(\text{r})$	бесцвет.	—	—	—	—	—	-1005,8	487,6	-950,6
CrN	черный, аморф. или куб.	5,9	разл. ¹⁷⁷⁰	—	н. р.	н. р.	-123,4	52,7	-103,5
Cr_2O_3	зеленый, тригон.	5,21	1990	—	н. р.	н. р.	-1140,6	81,2	-1059
CrO_3	крист. расплыв., ромб.	2,70	196	разл.	166 ¹⁵	199 ¹⁰⁰	-585,8	72,0	-506,3
$\text{CrO}_4^{2-}(\text{p-p})$	—	—	—	—	—	—	-882,2	54,2	-739,9
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{p-p})$	—	—	—	—	—	—	-1491,9	270,6	-1305,4
$\text{Cr}(\text{OH})_2$	крист. или аморф.	—	—	—	—	—	-677,8	81,2	-587,8
$\text{Cr}(\text{OH})_3$	крист. или аморф.	—	—	—	—	—	-1000,0	80,3	-849,0

Продолжение табл. П.22

Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	Плотность, г/см ³	$t_{пл}$, °С	$t_{кип}$, °С*	Растворимость, г/100 г Н ₂ O *		ΔH_{298}^{298} , кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К · моль)	ΔG_{298}° , кДж/моль
					в хол. воде	в гор. воде			
CrO ₂ Cl ₂ (ж.)	темно-красная жидк.	1,91	-96,5	116	реаг.	реаг.	-598,7	206,9	-524,7
Cr ₂ (SO ₄) ₃	светло-зеленые крист.	2,2	разл.		р.	р.	-3308,0	288,0	-2984,0
CrF ₃	зеленый, ромб.	3,8	>1000	возг.	сл. р.	р.	-1159,0	94,1	-1089,3
CrCl ₂	белые расплыв. иглы	2,75	815	~1308	реаг.	реаг.	-395,4	115,6	-365,3
CrCl ₃	фиолетовый, тригон.	2,76	1152	—	—	—	-570,3	124,7	-500,7
Mo	серебристо-белый металл, куб.	10,2	2550	4800	н. р.	н. р.	0	28,6	0
Mo(г)	—	—	—	—	—	—	659,0	181,8	604,9
MoO ₄ ²⁻ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-996,6	58,6	-915,5
Mo ₂ C	черный, гексагон.	8,9	2680	—	н. р.	—	-46,0	—	-46,9
Mo(CO) ₆	белый, ромб. или монокл.	1,95	разл. ¹⁵⁰	—	н. р.	н. р.	-983,2	327,0	-878,6
MoO ₂	сине-серые крист.	6,47	—	—	н. р.	н. р.	-689,1	46,3	-533,2

MoO ₃	светло-желтые крист.	4,5	795	1155	0,138 ²⁰	2,107 ⁸⁰	-745,2	77,7	-668,1
H ₂ MoO ₄	белые (светло-желтые) крист.	3,11	разл. ¹¹⁵	—	сл. р.	сл. р.	-1045,1	159,0	-950,0
MoS ₂	черный, гексагон.	4,80	1185	—	н. р.	н. р.	-248,1	62,6	-239,2
MoF ₆	бесцвет.	2,55	17	36	реак.	реак.	-1585,4	259,7	-1473,0
MoCl ₂	желтый, аморф.	3,71	разл.	—	н. р.	н. р.	-288,7	119,2	-144,8
MoCl ₃	темно-красные иглы	3,58	разл.	—	н. р.	сл. реак.	-393,0	138,0	-204,0
MoCl ₄	красно-коричневый, гир.	—	разл.	—	реак.	реак.	-479,5	180,0	-391,6
MoCl ₅	зеленовато-черный, гир.	2,93	194	264	реак.	реак.	-526,8	230,0	-420,6
W	серый-металл, куб.	19,3	3380	5370	н. р.	н. р.	0	32,7	0
W(г)	—	—	—	—	—	—	844,3	173,8	802,3
WO ₄ ²⁻ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-1115,4	62,8	-920,5
WC	черный (серый), гексагон.	15,6	2870	~6000	н. р.	—	-41,0	35,0	-39,5
W(CO) ₆	бесцвет., ромб.	2,65	возг. ⁵⁰	разл. ¹⁷⁵	—	—	—	—	—
W(CO) ₆ (г)	бесцвет.	—	—	—	—	—	-877,0	4,18	-825,9
WO ₂	бурый, тетрагон.	12,1	~1270	~1700	н. р.	н. р.	-589,6	50,5	-533,9

Продолжение табл. П.22

Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	Плотность, г/см ³	$t_{пл}$, °С	$t_{кип}$, °С	Растворимость, г/100 г H ₂ O *		$\Delta H_{298}^{H_2O}$, кДж/моль	$S_{298}^{H_2O}$, Дж/(К · моль)	$\Delta G_{298}^{H_2O}$, кДж/моль
					в хол. воде	в гор. воде			
WO ₃	желтый или оранжево-желтый, трикл.	7,16	1470	—	н. р.	н. р.	-842,7	75,9	-763,9
WO ₂ Cl ₂	светло-желтый	—	266	—	р.	реаг.	-835,5	186,6	-753,8
H ₂ WO ₄	желтый, ромб.	5,5	-H ₂ O ¹⁰⁰	—	н. р.	сл. р.	-1132,0	117,2	-1036,4
WF ₆ (г)	бесцвет. газ; светло-желтая жидк.		0,5	17,7	реаг.	реаг.	-1721,5	353,5	-1635,9
Mn	серо-розовый металл, куб.	7,2	1244	2120	реаг.	реаг.	0	32,0	0
Mn(г)	—	—	—	—	—	—	279,2	173,6	237,0
Mn ²⁺ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-223,1	-74,9	-227,6
MnCO ₃	коричневый, аморф. порошок или розовый, ромб.	3,12	разл.	—	н. р.	—	-881,7	109,5	-811,4
MnC ₂ O ₄	светло-розовые крист.	2,43	разл.		н. р.	н. р.			
MnC ₂ O ₄ · 2H ₂ O	светло-розовые крист.		-2H ₂ O ¹⁰⁰	разл.	0,025 ⁰	сл. р.			

MnO	зеленый, куб.	5,43	1650	—	н. р.	н. р.	—385,1	61,5	—363,3
Mn ₃ O ₄	черный, тетрагон., ромб.	4,70	1560	—	н. р.	н. р.	—1387,6	154,8	—1282,9
Mn ₂ O ₃	черный, куб., тетрагон.	4,51	разл. ¹⁰⁸⁰	—	н. р.	н. р.	—	—	—
MnO ₂	черный (коричнево-черный), ромб., гексагон.	5,03	разл. ⁵³⁵	—	н. р.	н. р.	—521,5	53,1	—466,7
Mn ₂ O ₇	темно-зеленая масл. жидк.	>1,8	<—20	взр. ⁷⁰	в. р.	реаг.	—728,4	—	—543,9
MnO ₄ [—] (p-p)	—	—	—	—	—	—	—542,7	191,2	—449,4
Mn(OH) ₂	светло-розовый, тригон.	3,26	разл.	—	н. р.	—	—700,0	94,9	—618,7
MnSO ₄	светло-розовый, ромб.	3,25	700	разл. ⁸⁵⁰	63 ²⁰	40,8 ⁹⁰	—1066,7	112,5	—959,0
MnCl ₂	розовый, расплыв., куб.	2,98	650	1190	74 ²⁰	115 ¹⁰⁰	—481,2	118,2	—440,4
MnCl ₂ · 4H ₂ O	крист.	2,01	58	—H ₂ O ¹⁰⁶ —4H ₂ O ¹⁹⁸	203 ²⁰	532 ¹⁰⁰	—1687,5	311,5	—1426
Tc	серебристо-серый металл	11,5	2140	4700	—	—	0	33,5	0
Tc(r)	—	—	—	—	—	—	648,5	181,0	604,5
TcO ₄ [—] (p-p)	—	—	—	—	—	—	—723,8	313,8	—630,2
Tc ₂ O ₇	светло-желтые крист.	—	119,5	311	p.	p.	—1114,6	191,6	—937,8

Продолжение табл. П.22

Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	Плотность, г/см ³	$t_{пл}$, °С *	$t_{кип}$, °С *	Растворимость, г/100 г Н ₂ O *		$\Delta H_{298}^{H_2O}$, кДж/моль	$S_{298}^{H_2O}$, Дж/(К · моль)	$\Delta G_{298}^{H_2O}$, кДж/моль
					в хол. воде	в гор. воде			
Re	серебристый блестящий металл	20,5	3167	5500	—	—	0	36,5	0
Re(r)	—	—	—	—	—	—	776,8	787,8	731,5
ReO ₄ ⁻ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-1272,0	207,2	-1098,0
ReO ₂	черный	—	—	—	н. р.	н. р.	-423,8	72,8	-373,2
ReO ₃	темно-красный, куб.	6,9	160	разл. ⁴⁰⁰	н. р.	н. р.	-592,9	82,8	-514,4
Re ₂ O ₇	желтовато-бурые пластинки	8,2	300	360	в. р.	в. р.	-1272,0	207,2	-1098
ReS ₂	черный, гексагон.	7,5	—	разл.	н. р.	н. р.	-138,9	96,2	-173,6
Re ₂ S ₇	черный	4,87	—	разл.	н. р.	н. р.	-451,4	—	-422,6
ReF ₆	светло-желтый	6,16	18,8	47,6	р., реаг.	р., реаг.	-1382,1	270,6	-1270,5
ReCl ₃	темно-красный, гексагон.	—	257	327	р.	р.	-263,3	159,0	-200,0
ReCl ₅	темно-зеленый, крист.	4,9	—	разл.	реаг.	реаг.	-361,0	230,0	-252,6
ReBr ₃	красно-коричневый	—	—	—	—	—	-164,4	184,1	-140,6

Fe	серебристый ме- талл, куб.	7,86	1539	2730	н. р.	н. р.	0	27,1	0
Fe(r)	—	—	—	—	—	—	416,3	180,4	370,7
Fe ²⁺ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-87,2	-131,0	-79,0
Fe ³⁺ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-46,4	-309,2	-4,5
[Fe(CN) ₆] ⁴⁻ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-530,1	92,0	-769,4
[Fe(CN) ₆] ³⁻ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-636,1	267,8	-803,7
Fe ₃ C	крист.	—	—	—	—	—	25,0	108,0	18,8
Fe(CO) ₅	желтая вязк. жидк.	1,46	-21	104,9	н. р.	—	-764,0	338,0	-695,2
FeCO ₃	серый, тригон.	3,8	разл.	—	н. р.	—	-738,1	95,4	-665,1
FeSiO ₃	монокл.	3,5	1550	—	—	—	-1195,8	94,0	-1118,2
FeO	черный, куб.	5,7	1360	—	н. р.	н. р.	-264,8	60,7	-244,3
Fe ₃ O ₄	темно-красный, куб.	5,11	разл. ¹⁵³⁸	—	н. р.	н. р.	-1117,1	146,2	-1014,2
Fe ₂ O ₃	красно-коричне- вый, тригон.	5,24	1565	—	н. р.	н. р.	-822,2	87,4	-740,3
Fe(OH) ₂	светло-зеленый, аморф.	3,4	разл. ^{>150}	—	н. р.	—	-561,7	88,0	-489,7
Fe(OH) ₃	красно-коричне- вый, куб.	3,4	-1,5H ₂ O ⁵⁰⁰	—	н. р.	—	-826,6	105,0	-699,6
FeS	черно-коричне- вый, гексагон.	4,84	1193	разл.	н. р.	—	-100,4	60,3	-100,8

Продолжение табл. П.22

Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	Плотность, г/см ³	$t_{пл}, ^\circ\text{C}^*$	$t_{кип}, ^\circ\text{C}^*$	Растворимость, г/100 г H ₂ O *		ΔH_{298}° , кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К · моль)	ΔG_{298}° , кДж/моль
					в хол. воде	в гор. воде			
FeS ₂	золотисто-желтый, куб.	5,00	1171	разл.	н. р.	—	-163,2	52,9	-151,8
FeSO ₄	крист.	—	—	—	—	—	-929,5	121,0	-825,5
FeSO ₄ · 7H ₂ O	зелено-голубой, монокл.	1,90	64	—	33 ⁰	149 ⁵⁰	-3016,0	409,1	-2512,0
Fe ₂ (SO ₄) ₃	желтые расплыв. крист.	2,1	разл.	—	р.	реак.	-2584,0	282,8	-2253,0
FeCl ₂	светло-зеленые расплыв. крист.	2,98	672	1012	62,6 ²⁰	94,2 ¹⁰⁰	-341,7	118,0	-302,3
FeCl ₃	красно-коричневый, тригон.	2,80	304	315	74,4 ⁰	537 ¹⁰⁰	-396,2	145,6	-340,2
FeBr ₂	желтовато-зеленый, тригон.	4,62	684 ^(лавл.)	—	108 ¹⁰	184 ¹⁰⁰	-251,4	140,0	-239,6
FeBr ₃	красно-коричневые крист.	—	разл. > ¹⁰⁰	—	в. р.	в. р.	-269,0	184,0	-256,0
Co	серебристый металл, куб.	8,8	1492	2255	н. р.	н. р.	0	30,0	0
Co(r)	—	—	—	—	—	—	424,7	179,4	380,2
Co ²⁺ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-59,4	-113,0	-53,5

Продолжение табл. П.22

Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	Плотность, г/см ³	$t_{пл}$, °С	$t_{кип}$, °С	Растворимость, г/100 г Н ₂ O *		$\Delta H_{298}^{H_0}$, кДж/моль	$S_{298}^{H_0}$, Дж/(К · моль)	$\Delta G_{298}^{H_0}$, кДж/моль
					в хол. воде	в гор. воде			
CoCl ₂ · 6H ₂ O	красный, монокл.	1,92	86	-6H ₂ O ¹¹⁰	173 ²⁰	в. р.	—	—	-1735,9
CoBr ₂	зеленые расплыв. крист.	4,91	разл.	—	119 ²⁵	257 ¹⁰⁰	-223,8	135,6	-210,5
CoI ₂	черный, гексагон.	5,58	515	разл. ⁵⁷⁰	197 ²⁵	420 ¹⁰⁰	-102,1	158,2	97,5
Ni	серебристый металл	8,90	1453	2140	н. р.	н. р.	0	29,9	0
Ni(r)	—	—	—	—	—	—	423,7	182,1	378,3
Ni ²⁺ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-53,2	-126,1	-45,6
[Ni(NH ₃) ₆] ²⁺ (p-p)	—	—	—	—	—	—	—	356,5	-253,0
NiO	темно-зеленый, куб.	7,45	1950	—	н. р.	н. р.	-239,7	38,0	-211,6
Ni(OH) ₂	светло-зеленые аморф. крист.	4,1	—	—	н. р.	—	-543,5	80,0	-458,3
Ni(OH) ₃	черный	—	—	—	—	—	-678,2	81,6	-541,8
NiS	черный тригон., гексагон.	5,3	797	—	н. р.	реак.	-79,0	53,0	76,9

NiSO₄	желтый, ромб.	3,68	-SO ₃ ⁸⁴⁰	—	38,3 ²⁰	77 ¹⁰⁰	-873,5	103,8	-763,8
NiSO₄ · 7H₂O	зеленый, ромб.	1,95	-H ₂ O ^{31,5}	—	101 ²⁰	375 ¹⁰⁰	-2977,4	378,9	-2463,3
NiF₂	зеленый, тетрагон.	4,62	—	—	2,55 ¹⁰	2,58 ⁹⁰	-661,1	73,6	-624,2
NiCl₂	желтые расплыв. крист.	3,55	возг. >973	—	59,5 ¹⁰	87,7 ¹⁰⁰	-304,2	98,07	-258,0
NiBr₂	желтые расплыв. крист.	4,64	963	—	131 ²⁰	155 ¹⁰⁰	-214,0	129,0	-201,0
NiI₂	черные расплыв. крист.	5,83	797	—	124 ⁰	188,2 ⁹⁰	-96,2	157,7	-89,1
Ru	серо-белый металл	12,1	2430	4200	н. р.	н. р.	0	28,5	0
Ru(r)	—	—	—	—	—	—	602,5	186,4	555,6
RuO₂	темно-синий, тетрагон.	6,97	разл.	—	н. р.	н. р.	-236,4	60,7	-184,1
RuO₄	золотисто-желтые (коричневые) крист.	3,29	25,5	~100	2,033 ²⁰	2,249 ⁷⁴	-239,3	141,0	-150,6
Rh	серебристо-белый металл	12,4	1960	3670	н. р.	н. р.	0	31,5	0
Rh(r)	—	—	—	—	—	—	—	510,9	556,9
RhCl₃³⁻ (p-p)	—	—	—	—	—	—	—	209,2	-662,3
Pd	серебристо-белый металл	12,0	1552	3110	н. р.	н. р.	0	37,7	0
Pd(r)	—	—	—	—	—	—	393,3	166,9	354,8

Продолжение табл. П.22

Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	Плотность, г/см ³	$t_{пл}$, °C	$t_{кип}$, °C	Растворимость, г/100 г H ₂ O *		ΔH_{298}^{298} , кДж/моль	S_{298}^0 , Дж/(К · моль)	ΔG_{298}^{298} , кДж/моль
					в хол. воде	в гор. воде			
PdCl ₆ ²⁻ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-621,7	231,0	-440,9
PdO	черно-зеленый, тетрагон.	8,31	разл. ⁷⁵⁰	—	н. р.	н. р.	-115,5	38,9	-85,3
Os	голубовато-серый металл, гексагон.	22,5	2700	4610	н. р.	н. р.	0	32,6	0
Os(r)	—	—	—	—	—	—	669,4	191,6	621,8
OsO ₂	красно-коричневые крист.	7,91	разл. ⁶⁵⁰	—	н. р.	н. р.	-259,4	—	-209,2
OsO ₄	α — бесцвет., монокл.; β — желтый	4,91	39,5	130	5,26 ⁰	7,01 ²⁵	-394,0	164,0	-302,5
Ir	серебристо-белый металл	22,4	2441	4180	н. р.	н. р.	0	35,5	0
Ir(r)	—	—	—	—	—	—	627,6	178,4	580,8
IrO ₂	черный, тетрагон.	3,15	разл.	—	н. р.	н. р.	-243,0	59,0	-188,4
IrS ₂	коричневый	—	разл. ³⁰⁰	—	н. р.	—	-125,6	105,5	—
IrCl ₃	темно-зеленый	5,30	разл. ⁷⁶³	—	н. р.	—	-242,7	150,6	-198,7
IrCl ₆ (r)	—	—	—	—	—	—	-544,0	357,7	-458,7

Pt	серебристо-серый металл	21,4	1769	3710	н. р.	н. р.	0	41,5	0
Pt(r)	—	—	—	—	—	—	564,0	192,3	519,1
PtO ₂	сине-черный порошок	10,2	—	—	н. р.	н. р.	-134,0	69,1	-84,0
PtCl ₄ ²⁻ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-501,2	155,0	-363,0
PtCl ₆ ²⁻ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-669,9	223,6	-485,6
PtCl ₄	коричневый порошок	—	разл. ³⁷⁰	—	66,6 ⁰	571 ⁹⁸	-229,3	267,9	-163,8
PtBr ₄	темно-коричневый	5,69	разл. ¹⁸⁰	—	0,41 ²⁰	сл. р.	-159,0	163,5	-105,0
PtI ₄	буро-черный, аморф.	6,06	разл. ³⁷⁰	—	н. р.	—	-59,4	281,0	-97,9
Cu	красный металл, куб.	8,92	1083	2580	н. р.	н. р.	0	33,1	0
Cu(r)	—	—	—	—	—	—	339,3	166,3	299,7
Cu ⁺ (p-p)	—	—	—	—	—	—	71,5	39,3	50,2
Cu ²⁺ (p-p)	—	—	—	—	—	—	67,0	-92,8	65,6
CuCl ₂ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-277,6	210,9	-244,6
[Cu(NH ₃) ₂] ⁺ (p-p)	—	—	—	—	—	—	—	117,7	-30,5
[Cu(NH ₃) ₄] ²⁺ (p-p)	—	—	—	—	—	—	—	280,5	-111,5
Cu(OH) ₄ ²⁻ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-894,3	43,3	-658,2

Продолжение табл. П.22

Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	Плотность, г/см ³	$t_{пл}$, °C *	$t_{кип}$, °C *	Растворимость, г/100 г H ₂ O *		$\Delta H_{298}^{ж/моль}$	S_{298}° Дж/(К · моль)	ΔG_{298}° КДж/моль
					в хол. воде	в гор. воде			
CuCO ₃	крист.	—	—	—	—	—	—595,4	88,0	—518,3
(CuOH) ₂ CO ₃	малахит., синий, монокл.	3,88	разл. ²²⁰	—	н. р.	н. р.	—1051,0	211,6	—900,9
Cu(NO ₃) ₂	крист.	—	—	—	в. р.	в. р.	—305,2	192,5	—117,1
Cu(NO ₃) ₂ · 3H ₂ O	синий, расплыв., крист.	2,04	114,5	—	396 ⁴⁰	1270 ¹⁰⁰	—	—	—
Cu ₂ O	красный, куб.	6,0	1229	—0,5O ₂ ¹⁸⁰⁰	н. р.	н. р.	—173,2	92,9	—150,5
CuO	черный, куб.	6,40	разл. ¹⁰²⁶	—	н. р.	н. р.	—162,0	42,6	—129,4
Cu(OH) ₂	синий, студ. или аморф.	3,37	разл.	—	н. р.	реак.	—444,3	84,0	—359,4
CuS	черные крист.	4,6	разл. ²²⁰	—	н. р.	—	—53,1	66,5	—53,6
CuSO ₄	зеленоватого-белый, ромб.	3,60	200	разл. ⁶⁵⁰	20,2 ²⁰	77 ¹⁰⁰	—770,9	109,0	—661,8
CuSO ₄ · 5H ₂ O	синий, трикл.	2,28	—4H ₂ O ¹¹⁰ —5H ₂ O ¹⁵⁰	—	35,6 ²⁰	205 ¹⁰⁰	—2279,4	300,0	—1879,9
CuF ₂	расплыв., крист.	—	—	—	сл. р.	реак.	—537,6	68,6	—487,8
CuF ₂ · 2H ₂ O	синий, монокл.	2,93	—	—	сл. р.	реак.	—	—	—
CuCl	белый, куб.	3,53	430	1490	н. р.	—	—137,3	87,0	—120,1

CuCl_2	коричнево-желтый, монокл.	3,05	630	разл. ⁹⁹³	77,4 ²⁵	120 ¹⁰⁰	-215,6	108,1	-171,4
$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	зеленые расплыв. крист.	2,38	-2H ₂ O ¹¹⁰	—	124 ²⁵	225 ¹⁰⁰	-818,6	190,6	-660,1
CuBr	белый, куб.	4,72	488	1345	н. р.	реаг.	-103,5	96,1	-99,6
CuBr_2	черный, расплыв., монокл.	4,71	498	900	107,5 ⁰	в. р.	-143,0	146,0	-131,1
CuI	белый, куб.	5,62	588	1290	н. р.	—	-68,0	96,7	-69,7
Ag	белый металл, куб.	10,5	960,8	2163	н. р.	н. р.	0	42,5	0
$\text{Ag}(\text{r})$	—	—	—	—	—	—	284,9	172,9	246,1
$\text{Ag}^+(\text{p-p})$	—	—	—	—	—	—	105,6	720,8	77,1
$\text{Ag}(\text{CN})_2^-(\text{p-p})$	—	—	—	—	—	—	—	201,3	-301,7
$\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+(\text{p-p})$	—	—	—	—	—	—	—	246,3	-17,6
AgCN	белый	3,95	разл. ³²⁰	—	н. р.	—	145,9	107,2	156,9
AgNO_3	бесцвет.	4,35	212	разл. ⁴⁴⁴	0,155 ⁰	1,363 ⁶⁰	-124,5	140,9	-33,6
Ag_2O	коричнево-черный, куб.	7,14	разл. ³⁰⁰	—	н. р.	н. р.	-31,1	121,0	-11,3
Ag_2S	черный, куб.	7,32	825	разл.	н. р.	—	-32,8	144,0	-40,8
Ag_2SO_4	белый, ромб.	5,45	652	разл. ¹⁰⁸⁵	0,57 ⁰	1,41 ¹⁰⁰	-717,2	199,8	-619,6
Ag_2CrO_4	красный, монокл.	5,62	—	—	0,0014 ⁰	0,008 ⁷⁰	-721,3	217,6	-635,1

Продолжение табл. П.22

Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	Плотность, г/см ³	$t_{пл}, ^\circ\text{C}^*$	$t_{кип}, ^\circ\text{C}^*$	Растворимость, г/100 г H ₂ O *		ΔH_{298}° , кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К · моль)	ΔG_{298}° , кДж/моль
					в хол. воде	в гор. воде			
AgF	желтый, расплыв., куб.	5,85	435	—	182 ^{15,5}	205 ¹⁰⁸	-206,0	83,7	-187,9
AgCl	белый, куб.	5,56	455	1559	н. р.	н. р.	-127,1	96,1	-109,1
AgBr	светло-желтый, куб.	6,47	430	разл. ⁷⁰⁰	н. р.	н. р.	-100,7	107,1	-97,2
AgI	желтый, гексагон.	5,67	разл. ⁵⁵²	—	$\sim 3 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-6}$	-61,9	115,5	-66,4
Au	желтый металл, куб.	19,3	1063	2710	н. р.	н. р.	0	47,4	0
Au(r)	—	—	—	—	—	—	395,2	180,4	325,6
Au(CN) ₂ ⁻ (p-p)	—	—	—	—	—	—	—	123,4	369,4
AuCl ₄ ⁻ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-322,4	268,4	-235,8
AuBr ₄ ⁻ (p-p)	—	—	—	—	—	—	—	313,8	-159,4
Au ₂ O ₃	черно-бурый порошок	—	-O ₂ ¹⁶⁰	—	н. р.	н. р.	-13,0	134,3	78,7
Au(OH) ₃	черно-бурый порошок	—	-1,5H ₂ O ²⁵⁰	—	н. р.	—	-477,8	121,0	-349,8
AuF ₃	крист.	—	—	—	—	—	-348,5	114,2	-297,5

AuCl	желтые крист.	7,4	—	разл. ^{289,5}	реакт.	реакт.	-36,4	85,2	-14,6
AuCl ₃	красные расплыв. крист.	3,9	288 ^{двл.} Cl ₂	возг. ²⁶⁵	68	в. р.	-118,4	164,4	-53,6
AuBr ₃	темно-коричневые крист.		-Br ₂ ¹¹⁵	—	сл. р.	—	-53,5	155,0	-24,7
Zn	голубовато-белый металл	7,14	419	913	н. р.	н. р.	0	41,6	0
Zn(r)	—	—	—	—	—	—	130,7	160,9	95,2
Zn ²⁺ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-153,7	-110,7	-147,3
[Zn(NH ₃) ₄] ²⁺ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-67,7	—	-53,6
ZnCO ₃	бесцвет., тригон. крист.	4,44	-CO ₂ ³⁰⁰	—	0,001 ¹⁵	—	-810,7	92,5	-732,5
Zn(NO ₃) ₂	крист.	—	—	—	в. р.	в. р.	-514,6	193,7	-298,8
Zn(NO ₃) ₂ ·2H ₂ O	крист.	—	—	—	в. р.	в. р.	-1111,1	258,2	-795,9
Zn(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	бесцвет., тетрагон.	2,06	36,1	-6H ₂ O ¹⁰⁵	в. р.	в. р.	-2306,8	462,3	-1174,9
ZnO	белый, гексагон.	5,61	возг. ¹⁸⁰⁰	—	н. р.	—	-350,6	43,6	-320,7
Zn(OH) ₂	бесцвет., ромб. или тригон.	3,05	разл. ¹²⁵	—	сл. р.	сл. р.	-645,4	77,0	-555,9
ZnS	бесцвет., гексагон. (вюрцит)	4,09	1850 ^(150 атм)	возг. ¹¹⁸⁵	н. р.	—	-205,4	57,7	-200,7
ZnSO ₄	бесцвет., ромб.	3,74	разл. ⁷⁴⁰	—	53,8 ²⁰	60,6 ¹⁰⁰	—	—	—

Продолжение табл. П.22

Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	Плотность, г/см ³	$t_{пл}, ^\circ\text{C}^*$	$t_{кип}, ^\circ\text{C}^*$	Растворимость, г/100 г H ₂ O *		ΔH_{298}° , кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К · моль)	ΔG_{298}° , кДж/моль
					в хол. воде	в гор. воде			
ZnSO ₄ · 6H ₂ O	бесцвет., монокл. или тетрагон.	2,07	-5H ₂ O ⁷⁰	—	141 ²⁰	167 ¹⁰⁰	-2780,8	363,8	-2325,6
ZnSO ₄ · 7H ₂ O	бесцвет., ромб.	1,97	-7H ₂ O ²⁸⁰	—	165 ²⁰	202 ¹⁰⁰	-3078,5	388,7	-2563,9
ZnF ₂	бесцвет., тетрагон.	4,18	872	1500	сл. р.	р.	-764,4	73,7	-713,5
ZnCl ₂	бесцвет., тригон.	2,91	315	733	375 ²⁰	615 ¹⁰⁰	-415,0	111,5	-369,4
ZnBr ₂	бесцвет., ромб.	4,22	392	702	447 ²⁰	672 ¹⁰⁰	-329,7	136	-312,4
ZnI ₂	белые расплыв. крист.	4,67	446	730	430 ⁰	510 ¹⁰⁰	-208,2	161,5	-209,3
Cd	серебристо-белый металл	8,64	321	767	н. р.	н. р.	0	51,8	0
Cd(r)	—	—	—	—	—	—	111,9	167,6	77,4
Cd ²⁺ (p-p)	—	—	—	—	—	—	-72,4	-70,9	-77,6
CdCO ₃	белый, крист.	4,26	разл. ^{~400}	—	н. р.	н. р.	-754,6	96,7	-674,5
Cd(NO ₃) ₂	бесцвет., крист.	—	350	—	142 ¹⁵	682 ¹⁰⁰	—	—	—
Cd(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	бесцвет.	2,45	59,2	132	327 ¹⁵	в. р.	-1653,2	393,0	-1236,5
CdO	коричневый, куб.	8,15	разл. ^{>900}	—	н. р.	н. р.	-260,0	54,8	-229,3

$\text{Cd}(\text{OH})_2$	бесцвет., гексагон. или тригон.	4,49	$-\text{H}_2\text{O}^{130}$	—	н. р.	—	-561,5	93,0	-473,8
CdS	желтовато-оранжевые крист.	5,81	>1350	—	н. р.	—	-156,9	71,1	-153,2
CdSO_4	бесцвет., ромб.	4,69	100	—	$76,7^{20}$	61^{100}	-934,4	123,0	-823,9
CdF_2	бесцвет., куб.	6,64	1100	1747	$4,35^{22}$	—	-700,4	84,0	-649,5
CdCl_2	бесцвет., тригон.	4,05	564	968	$90,0^0$	147^{100}	-390,8	115,3	-343,2
CdBr_2	белый, гексагон.	5,19	567	863	75^{10}	162^{100}	-315,3	138,8	-295,8
CdI_2	коричневый, гексагон.	5,67	388	900	$78,7^0$	125^{100}	-204,2	158,3	-201,3
$\text{Hg}(\text{ж})$	серебристая жидк., металл	13,5	-38,87	356,58	н. р.	н. р.	0	75,9	0
$\text{Hg}(\text{r})$	—	—	—	—	—	—	61,3	174,9	31,8
$\text{Hg}^{2+}(\text{p-p})$	—	—	—	—	—	—	173,6	-25,2	164,8
$\text{Hg}_2^{2+}(\text{p-p})$	—	—	—	—	—	—	171,9	82,2	153,7
HgCO_3	крист.	—	—	—	—	—	-553,3	184,1	-468,6
$\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$	крист.	—	—	—	—	—	-226,0	—	—
$\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	крист.	—	—	—	—	—	-536,6	—	—
Hg_2O	крист.	—	—	—	—	—	-91,3	130,2	-55,4
HgO	желтый (красный), ромб.	11,1	разл. ⁵⁰⁰	—	н. р.	$0,041^{100}$	-90,9	70,3	-58,4
HgS	киноварь, оранжев., тригон.	8,10	возг.	—	н. р.	—	-59,0	82,0	-51,4

Окончание табл. П.22

Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	Плотность, г/см ³	$t_{пл}$, °C	$t_{кип}$, °C	Растворимость, г/100 г H ₂ O *		ΔH_{298}^{298} , кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К · моль)	ΔG_{298}° , кДж/моль
					в хол. воде	в гор. воде			
HgS	черный, куб.; аморф. порошок	7,73	возг.	—	н. р.	—	-59,0	82,0	-51,4
Hg ₂ SO ₄	бесцвет., крист.	7,56	разл.	—	0,04 ²⁵	0,09 ¹⁰⁰	-744,6	200,7	-627,4
HgSO ₄	бесцвет., крист.	6,47	разл.	—	реак.	—	-707,9	136,4	-590,0
Hg ₂ Cl ₂	белый, тетрагон.	7,15	возг. ⁻⁴⁰⁰	—	н. р.	0,001 ⁴⁵	-265,1	192,7	-210,8
HgCl ₂	бесцвет., ромб.	5,44	277	302	6,59 ²⁰	58,3 ¹⁰⁰	-228,2	140,0	-180,9
Hg ₂ Br ₂	желтовато-белые крист.	7,31	возг. ⁻⁴⁰⁰	—	н. р.	—	-207,1	217,7	-181,3
HgBr ₂	бесцвет., ромб.	6,11	236	320	0,61 ²⁵	4,9 ¹⁰⁰	-169,9	179,8	-155,5
HgI ₂	красный, тетрагон.	6,28	250	354	н. р.	сл. р.	-105,4	184,0	-103,0

* В надстрочных индексах указана температура в °C или давление (в скобках)

Принятые сокращения:

бесцвет. — бесцветный; расплыв. — расплывающийся на воздухе; гипр. — гипроскопичный; студ. — студенистый; аморф. — аморфный; г — газ; ж — жидкость; р-р — раствор; т — твердое вещество; стекл. — стеклообразный; крист. — кристаллы; ядов. — ядовитый; самовоспл. — самовоспламеняющийся; куб. — кубический; монокл. — моноклинный; трикл. — триклинный; тетрагон. — тетрагональный; тригон. — тригональный; тексатон. — гексагональный; ромб. — ромбический; взр. — взрывается; разл. — разлагается; возг. — возгорается; исп. — испаряется; ф. п. — фазовый переход; н. р. — не растворяется; сл. р. — слабо растворяется; р. — растворяется; в. р. — высоко растворимо; реак. — реагирует с водой; сл. реак. — слабо реагирует с водой; безв. — безводный.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Стандартные потенциалы (E° , В) по отношению к потенциалу стандартного водородного электрода при 25 °С

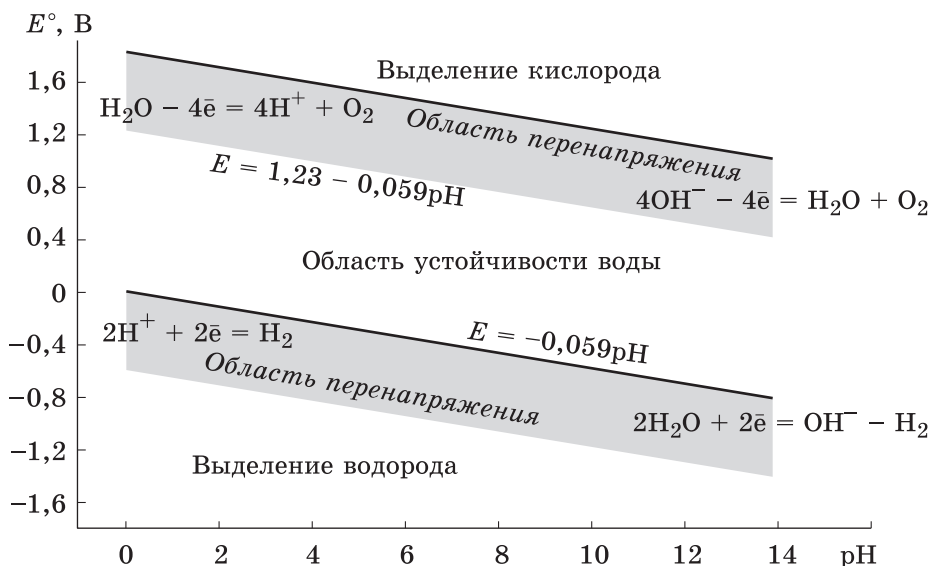
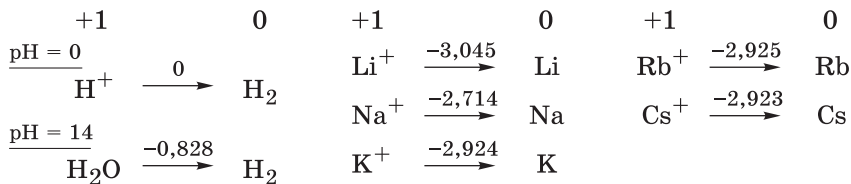


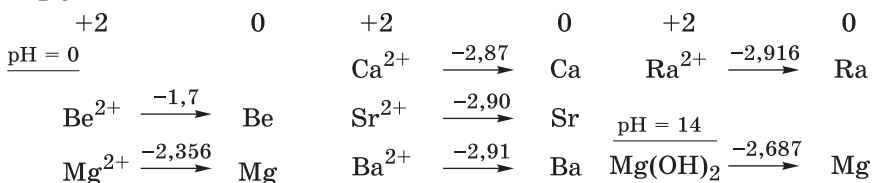
Рис. П.3.1. Область электрохимической устойчивости воды

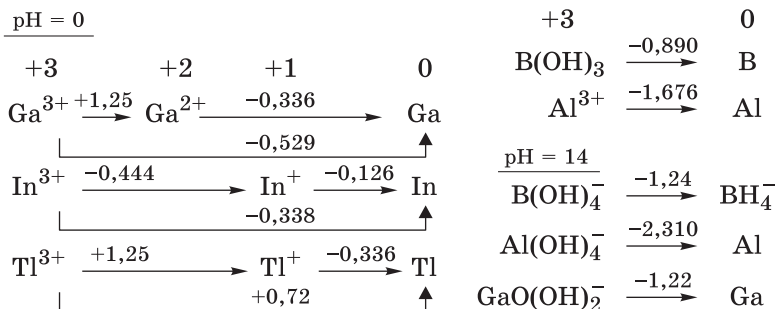
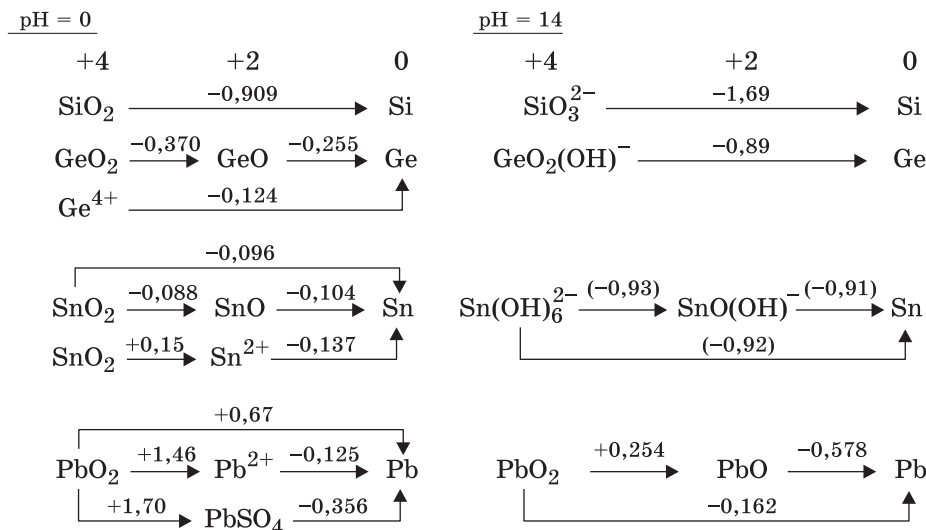
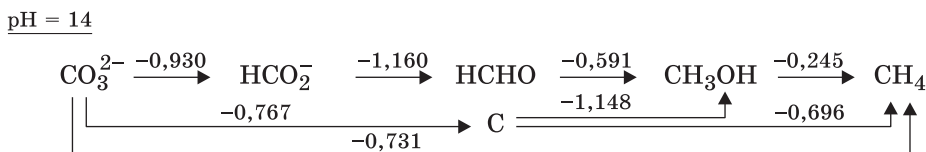
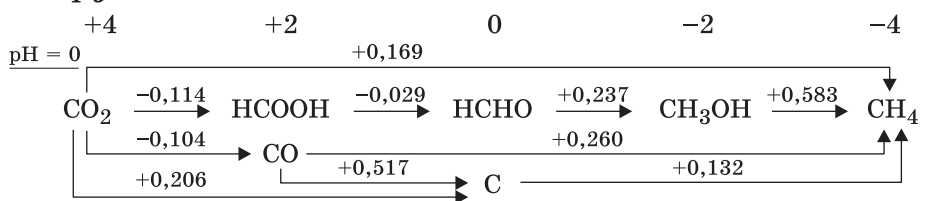
s-элементы

Группа 1

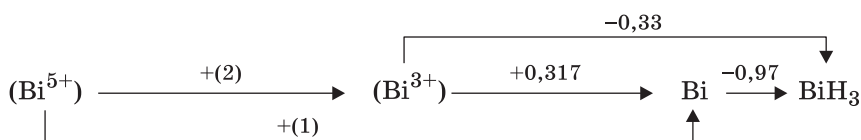
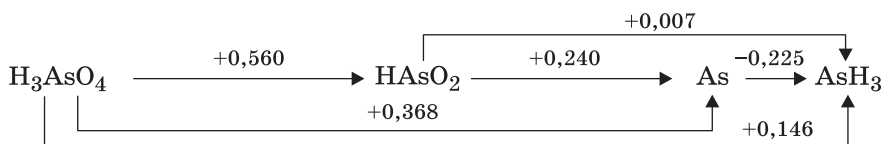
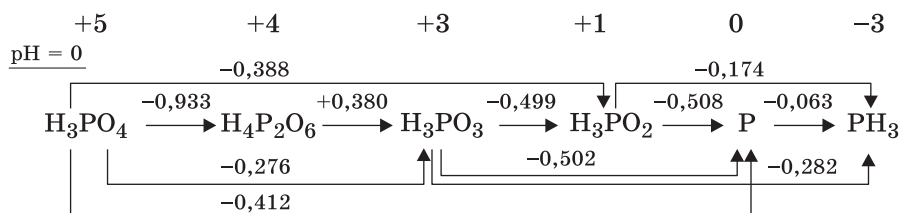
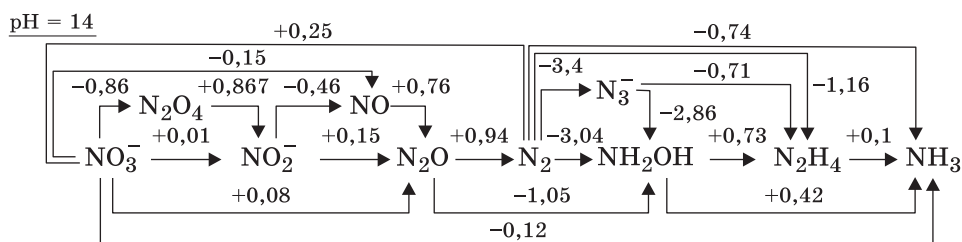
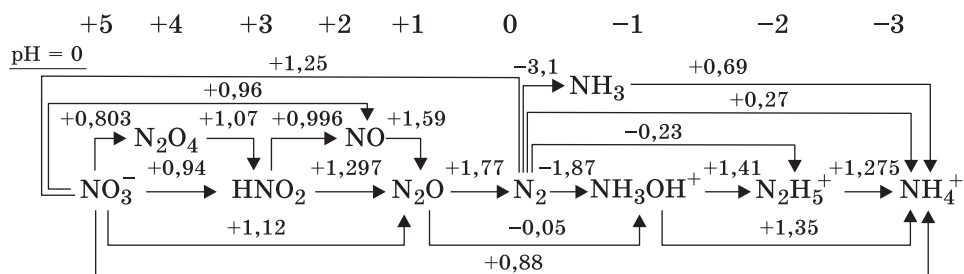


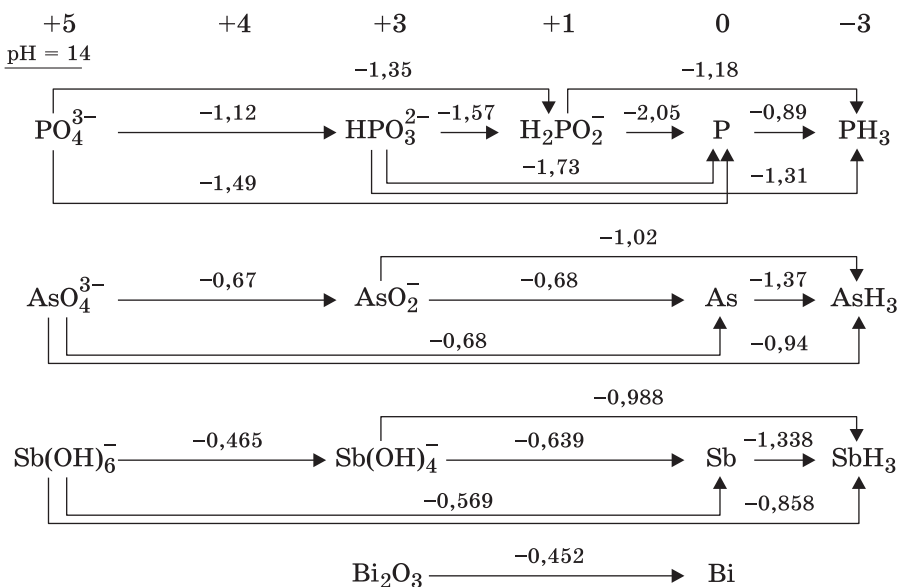
Группа 2



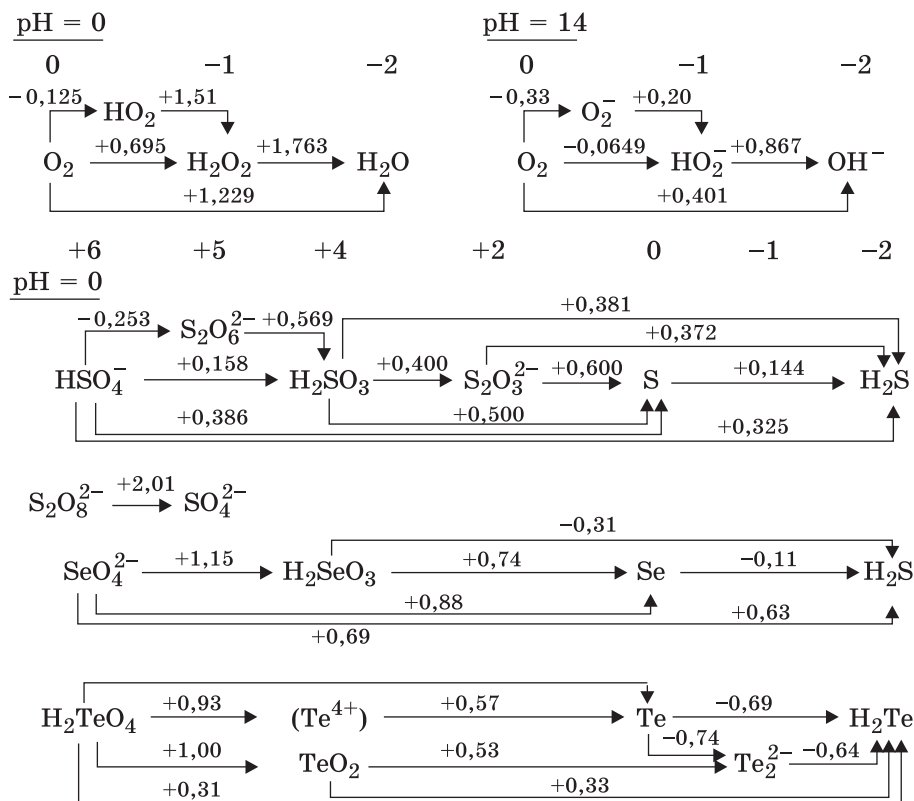
p-элементы**Группа 13****Группа 14**

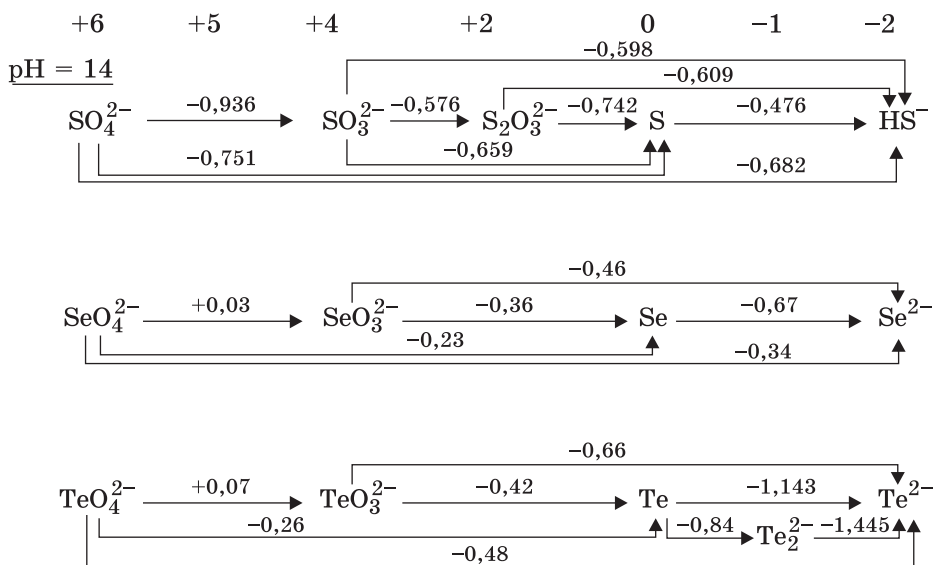
Группа 15



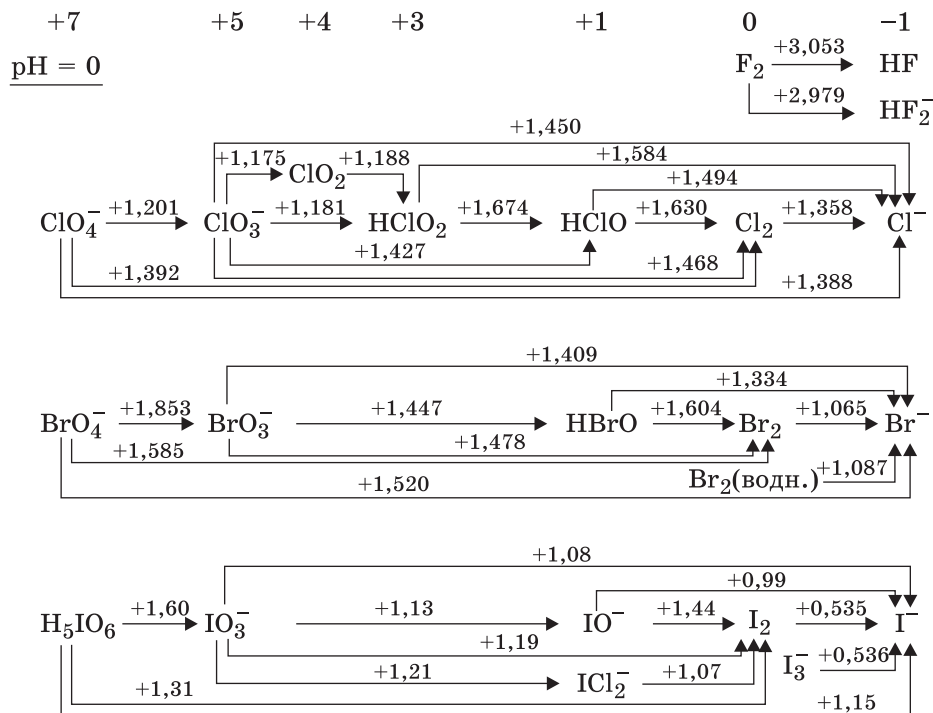


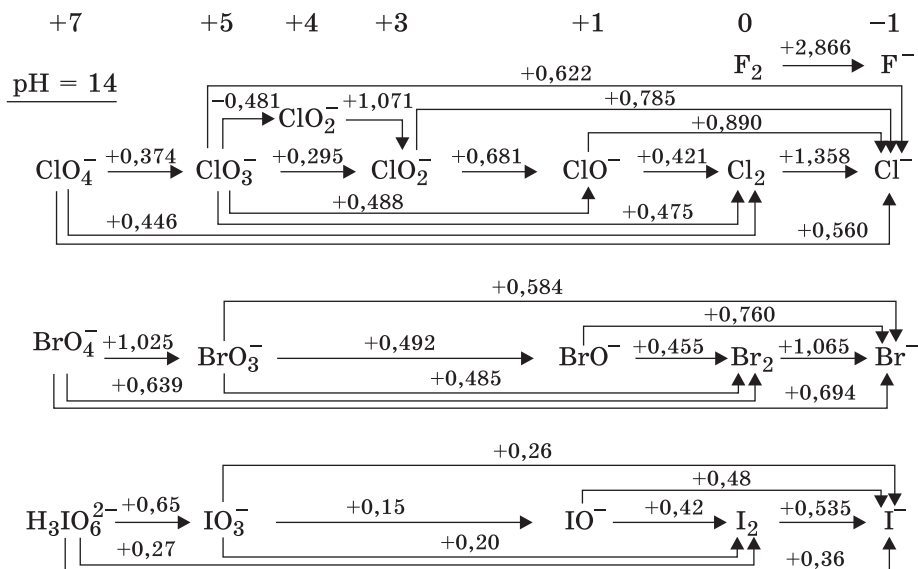
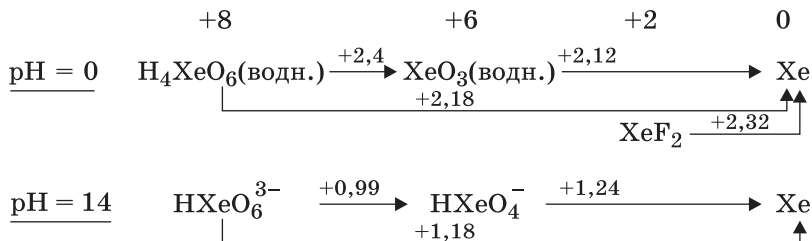
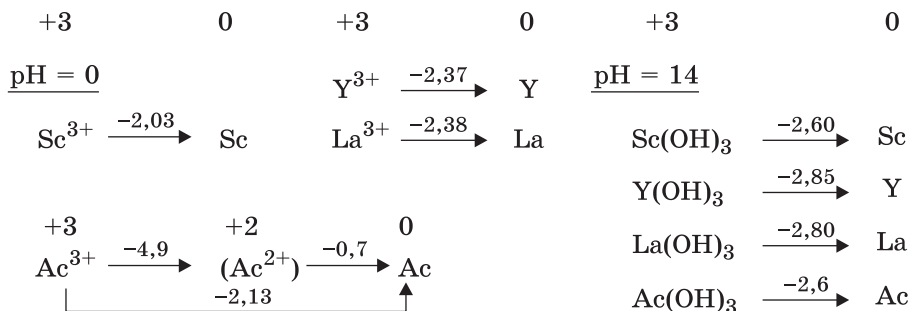
Грунна 16



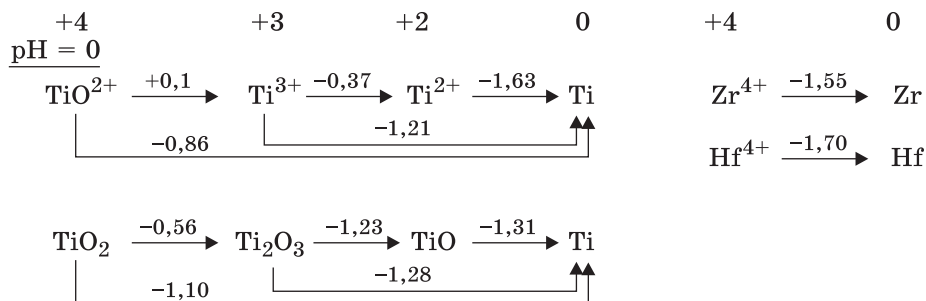


Группа 17

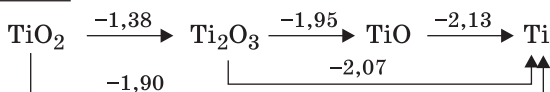


**Группа 18****d-элементы****Группа 3**

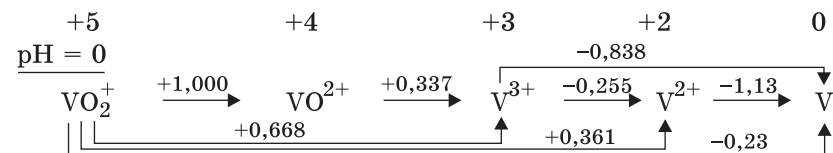
Группа 4



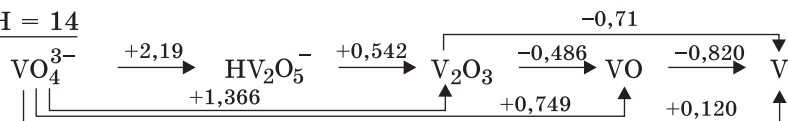
pH = 14



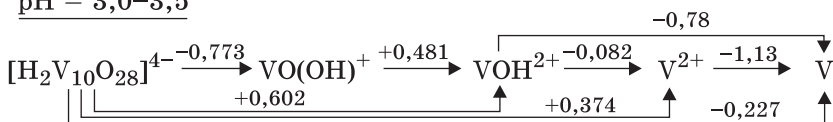
Группа 5



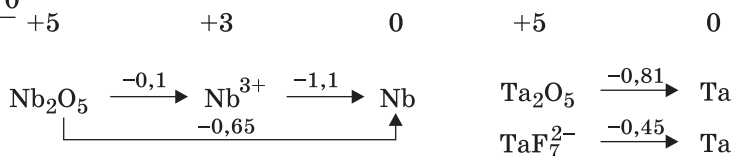
pH = 14



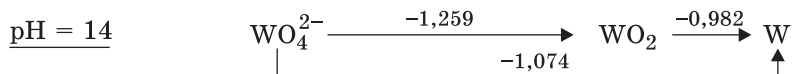
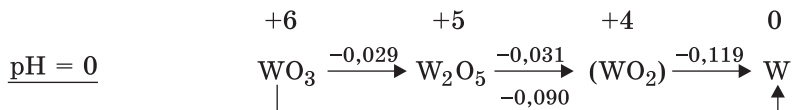
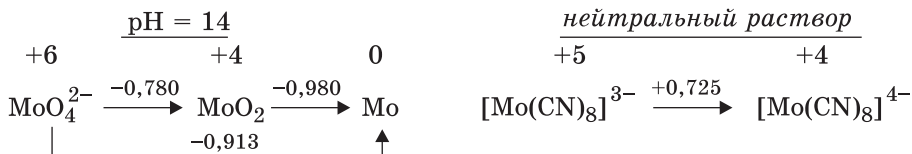
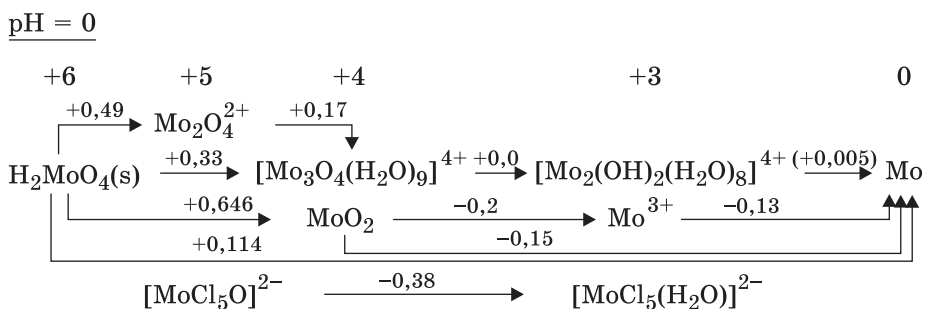
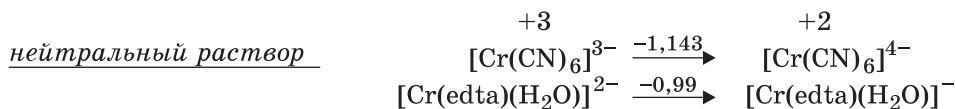
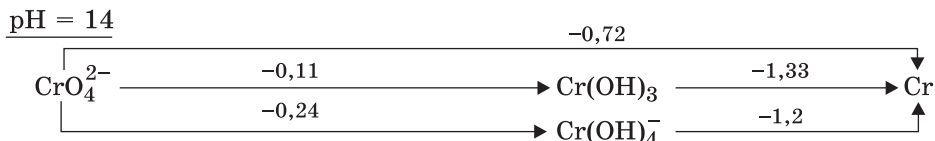
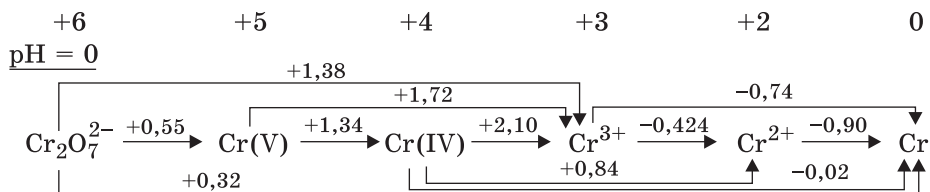
pH = 3,0–3,5



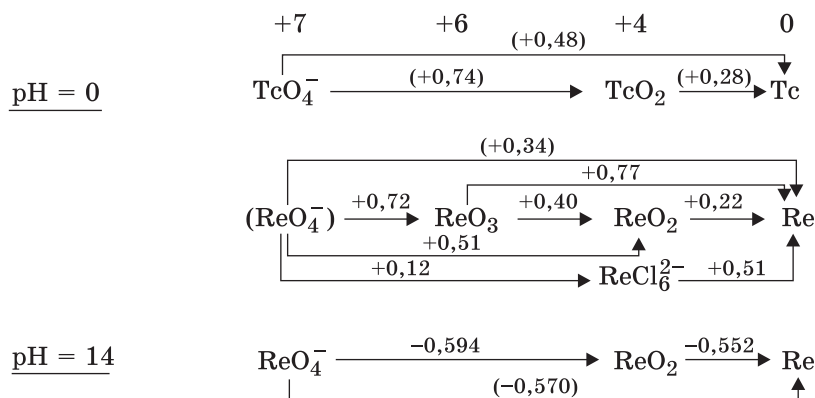
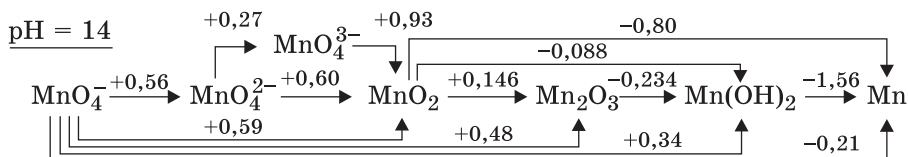
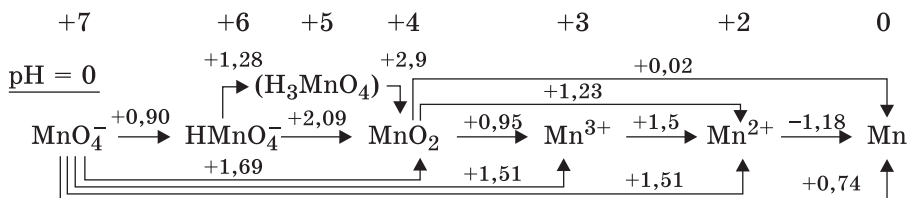
pH = 0



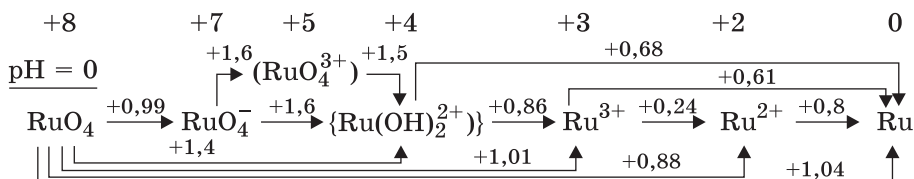
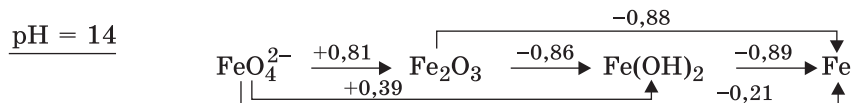
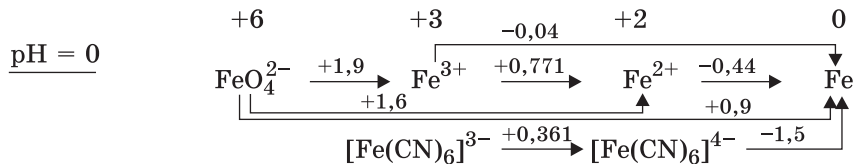
Група 6

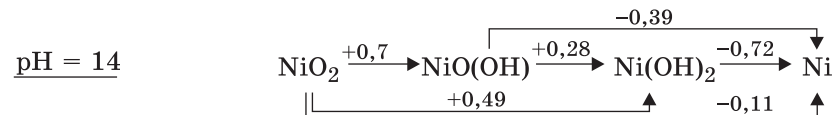
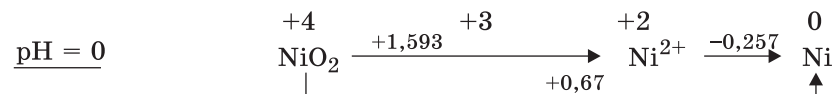
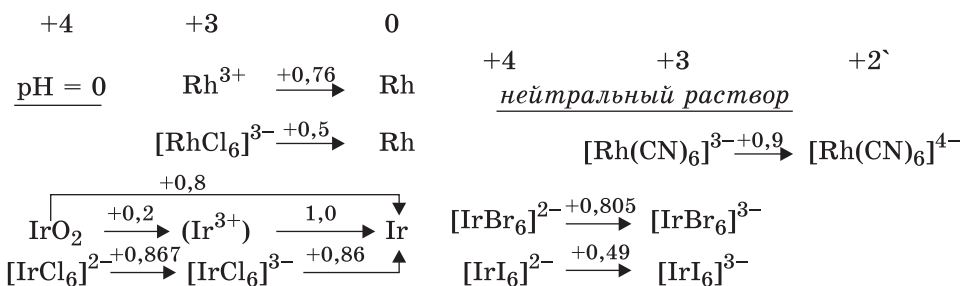
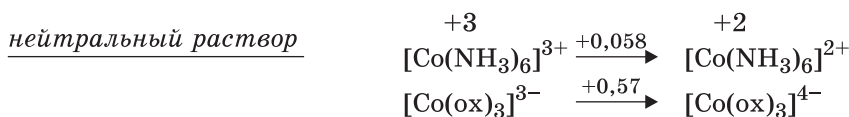
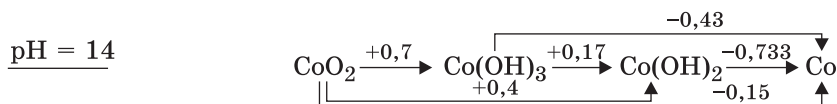
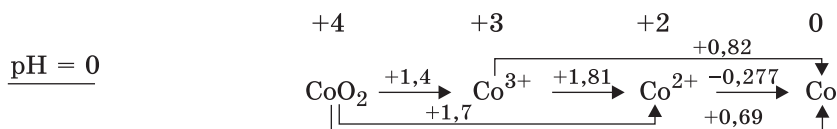
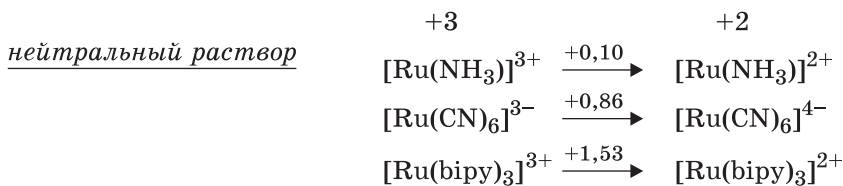


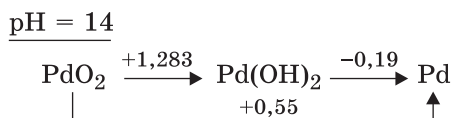
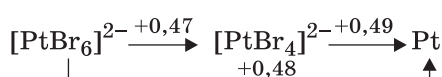
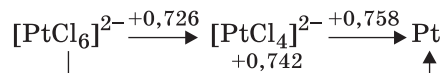
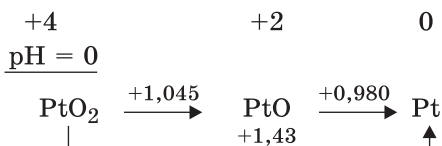
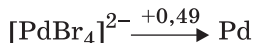
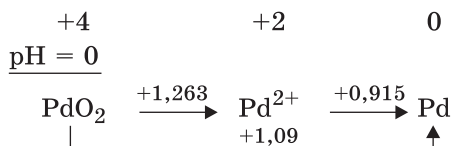
Группа 7



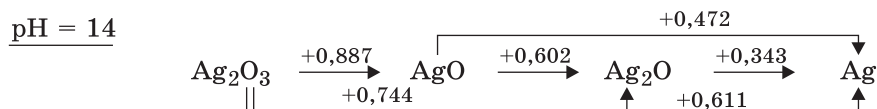
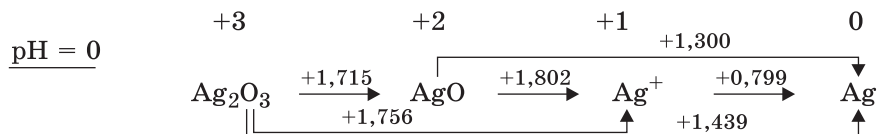
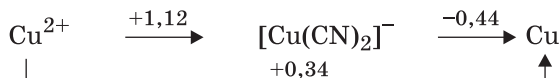
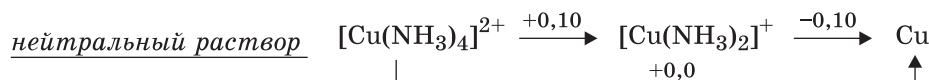
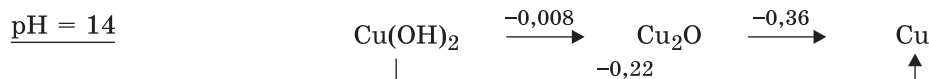
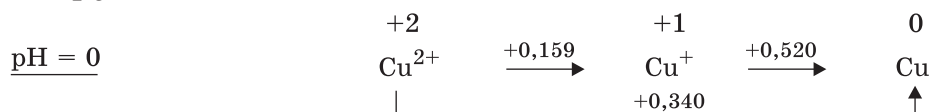
Группа 8

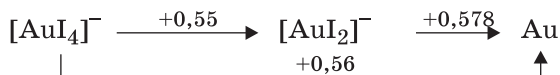
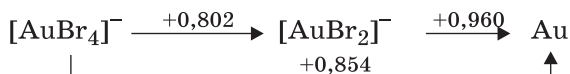
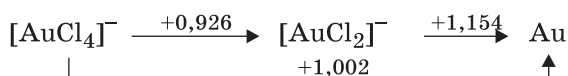
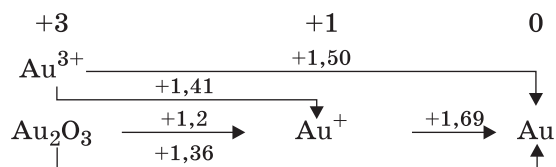
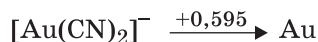
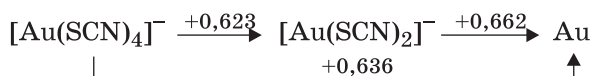
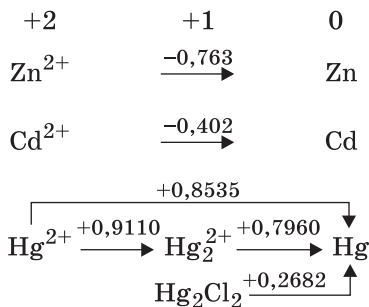
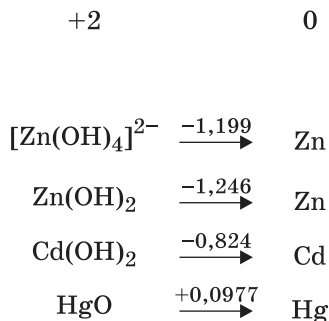






Группа 1

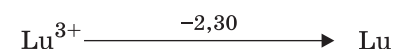
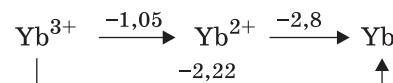
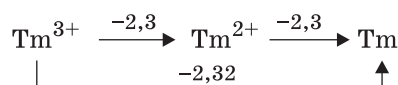
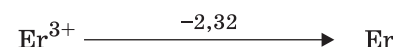
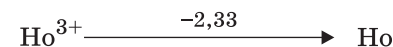
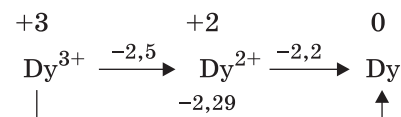
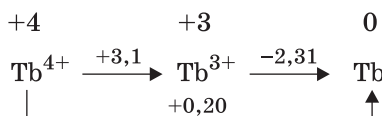
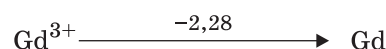
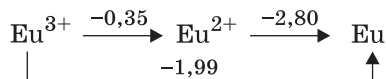
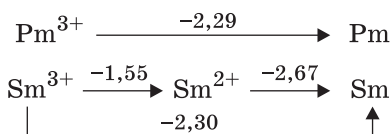
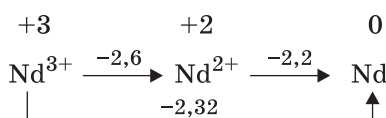
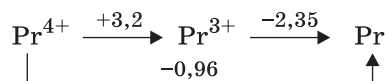
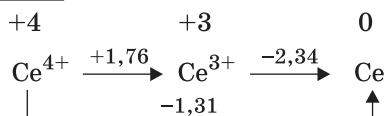


pH = 0нейтральный раствор**Группа 2**pH = 0pH = 14

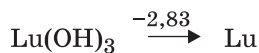
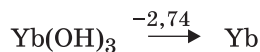
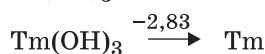
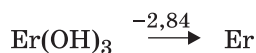
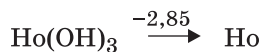
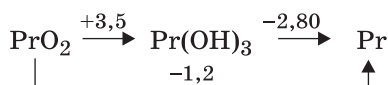
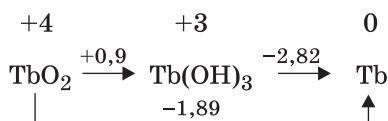
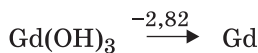
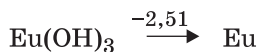
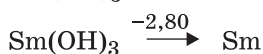
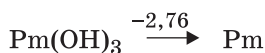
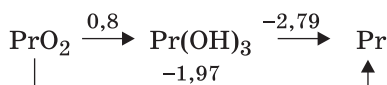
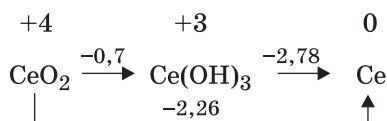
f-элементы

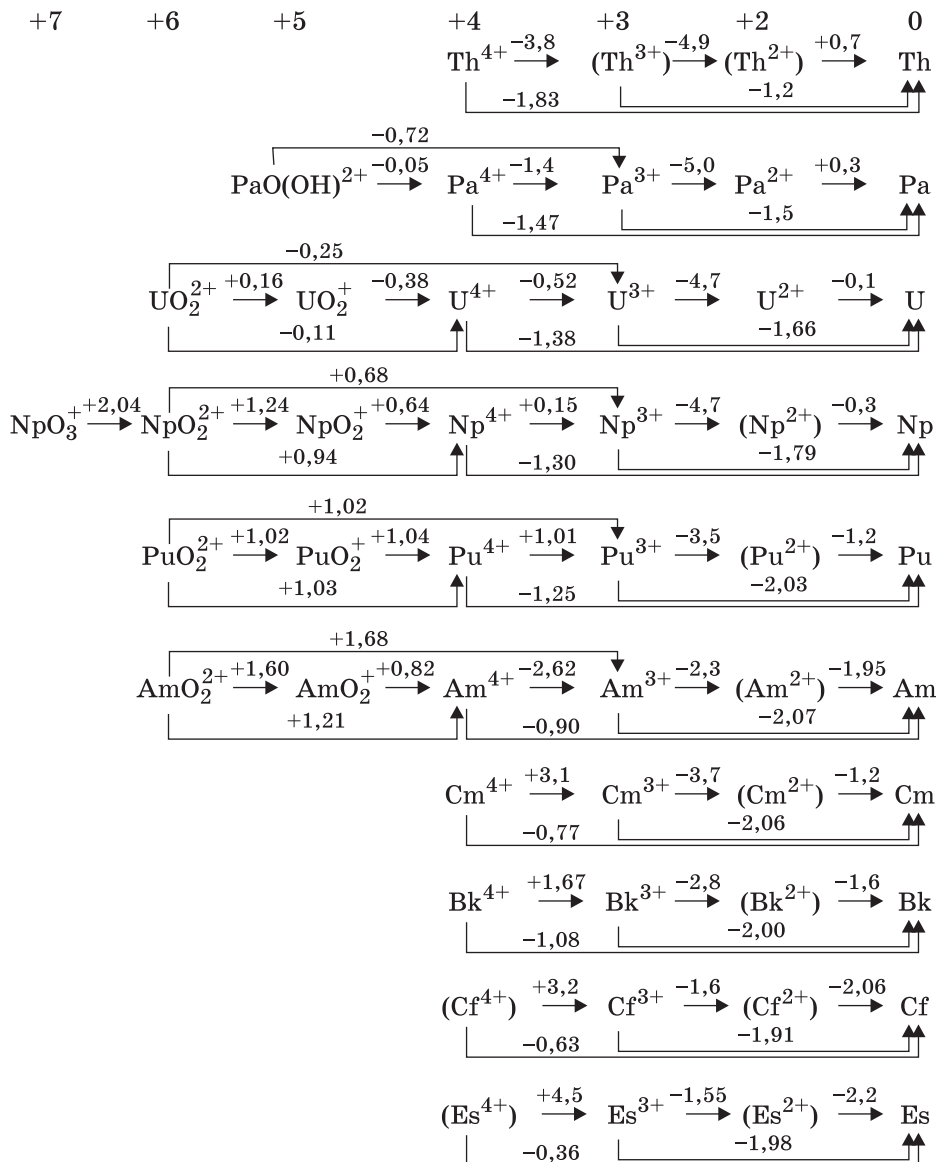
Лантаниды

pH = 0



pH = 14



*Актиниды*pH = 0

ЛИТЕРАТУРА

1. Анорганикум: В 2 т. / Под ред. Л. М. Кольдица. — М.: Мир, 1984.
2. *Воскресенский П. И.* Техника лабораторных работ. — М.: Химия, 1966.
3. *Карякин Ю. В., Ангелов И. И.* Чистые химические вещества. — М.: Химия, 1974.
4. *Лурье Ю. Ю.* Справочник по аналитической химии. — М.: Химия, 1989.
5. *Некрасов Б. В.* Основы общей химии: В 2 т. — М.: Химия, 1974.
6. Неорганическая химия / Ю. Д. Третьяков, Л. И. Мартыненко, А. И. Григорьев, А. Ю. Цивадзе. — М.: Химия, 2001.
7. Неорганическая химия: В 3 т. / Под ред. Ю. Д. Третьякова. — М.: Издательский центр «Академия», 2004–2007.
8. Практикум по неорганической химии: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений (В. А. Алешин, К. М. Дунаева, А. И. Жиров, Ю. М. Киселев, Ю. М. Коренев, Н. А. Субботина, М. Е. Тамм) / Под ред. Ю. Д. Третьякова. — М.: Издательский центр «Академия», 2004.
9. Руководство по неорганическому синтезу: В 6 т. / Под ред. Г. М. Брауэра. — М.: Мир, 1985–1986.
10. Термические константы веществ: Вып. 1–10 / Под ред. В. П. Глушко. — М.: Наука, 1966–1982.
11. *Шрайвер Д., Эткинс П.* Неорганическая химия: В 2 т. — М.: Мир, 2004.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
ЧАСТЬ I. ТЕХНИКА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ.	5
1. Правила работы в химической лаборатории	6
1.1. Подготовка к проведению химического эксперимента.	6
1.2. Правила безопасности при работе в лаборатории	6
1.3. Оказание неотложной помощи	7
1.4. Оформление рабочего журнала	8
2. Химическая посуда, оборудование и реактивы	12
2.1. Химическая посуда	12
2.2. Химические реактивы и правила работы с ними	20
2.3. Газы	23
2.4. Лабораторное оборудование	30
3. Проведение химического эксперимента	40
3.1. Работа со стеклом	40
3.2. Приготовление растворов	42
3.3. Приемы нагревания и охлаждения	43
3.4. Отделение и промывание осадков.	46
3.5. Фракционная перегонка	47
3.6. Правила сборки приборов	49
ЧАСТЬ II. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ	55
4. Очистка веществ и основы техники работы в лаборатории	56
4.1. Очистка солей методом перекристаллизации из раствора	56
4.2. Очистка летучих твердых веществ методом сублимации (возгонки)	63
4.3. Очистка воды от растворенных в ней солей методом дистилляции (перегонки)	64
4.4. Фракционная перегонка соляной кислоты, получение азеотропа (<i>дополнительный опыт</i>)	67
4.5. Получение и очистка газов	70
4.6. Практикум повышенной сложности по теме «Очистка веществ».	73
4.6.1. Разделение солей кадмия и меди методом ионообменной хроматографии	73
4.6.2. Получение и очистка иода методом отгонки с водяным паром	74
4.6.3. Получение и возгонка в вакууме иодида сурьмы(+3).	76
5. Химическое равновесие. Определение химических эквивалентов. Тепловые эффекты химических реакций	79
5.1. Химическое равновесие	79
5.2. Определение химических эквивалентов металлов с использованием эвдиометра (<i>дополнительный опыт</i>)	80
5.3. Определение энтальпии реакции нейтрализации (<i>дополнительный опыт</i>)	82

5.4. Практикум повышенной сложности по теме «Физико-химические основы неорганической химии»	84
5.4.1. Калориметрическое определение энтальпии гидратации сульфата меди	84
6. Растворы. Электролитическая диссоциация	87
6.1. Пересыщенные растворы	87
6.2. Определение растворимости солей в воде	88
6.3. Электропроводность растворов	90
6.4. Кислотно-основные равновесия в растворах.	91
6.5. Произведение растворимости	93
6.6. Приготовление растворов кислот и определение их концентрации методом титрования щелочью (<i>дополнительный опыт</i>)	93
6.7. Зависимость pH раствора соляной кислоты от концентрации (<i>дополнительный опыт</i>)	96
6.8. Практикум повышенной сложности по теме «Физико-химические основы неорганической химии»	97
6.8.1. Определение константы диссоциации уксусной кислоты и ее зависимости от температуры	97
7. Скорость химических реакций	99
7.1. Влияние концентрации реагирующих веществ на скорость реакции тиосульфата натрия с серной кислотой	99
7.2. Влияние температуры на скорость реакции тиосульфата натрия с серной кислотой	101
7.3. Влияние катализатора на скорость разложения пероксида водорода	103
7.4. Влияние степени смешивания на скорость гетерогенной химической реакции	104
ЧАСТЬ III. ХИМИЯ s-ЭЛЕМЕНТОВ.	105
8. Водород	106
8.1. Получение водорода и проверка его на чистоту	106
8.2. Восстановление водородом оксидов металлов.	107
9. Щелочные элементы	110
9.1. Свойства щелочных металлов.	110
9.2. Соли щелочных элементов.	110
9.3. Синтезы по теме «Щелочные элементы».	113
9.3.1. Гидроксид натрия (каустификация соды)	113
9.3.2. Пероксид натрия	114
9.3.3. Бромид натрия	115
9.4. Практикум повышенной сложности по теме «Щелочные элементы»	116
9.4.1. Пероксид лития	116
10. Бериллий, магний, кальций, стронций, барий	119
10.1. Соединения бериллия.	119
10.2. Магний, соединения магния	119

10.3. Соединения кальция, стронция, бария	121
10.4. Синтезы по теме «Бериллий, магний, кальций, стронций, барий»	122
10.4.1. Оксоацетат бериллия	122
10.4.2. Пероксид бария	122
10.4.3. Гексагидрат хлорида магния.	122
10.4.4. Безводный хлорид магния	124
10.4.5. Кристаллогидрат хлорида кальция	126
10.4.6. Получение хлорида бария из сульфата бария	127
10.5. Практикум повышенной сложности по теме «Магний, щелочноземельные металлы»	127
10.5.1. Хлорид магния.	127
10.5.2. Гидрид кальция	128
ЧАСТЬ IV. ХИМИЯ <i>p</i>-ЭЛЕМЕНТОВ.	131
11. Бор	132
11.1. Свойства бора	132
11.2. Борная кислота и бура	132
11.3. Окрашенные перлы буры.	132
11.4. Синтезы по теме «Бор»	133
11.4.1. Борная кислота	133
11.4.2. Нитрид бора	133
11.4.3. Пероксоборат натрия, $\text{Na}_2\text{B}_2(\text{O}_2)_2(\text{OH})_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	133
11.5. Практикум повышенной сложности по теме «Бор»	134
11.5.1. Аммиакат трифторида бора	134
11.5.2. Три(<i>n</i> -бутил)борат	135
12. Алюминий	138
12.1. Свойства алюминия	138
12.2. Гидроксид алюминия и алюминат натрия	138
12.3. Соли алюминия	138
12.4. Синтезы по теме «Алюминий»	139
12.4.1. Алюмотермия (получение железа)	139
12.4.2. Алюмокалиевые квасцы	140
12.4.3. Безводный хлорид алюминия	141
12.4.4. Алюминат натрия	142
12.4.5. Тригидрат триоксалаатоалюмината калия	142
12.5. Практикум повышенной сложности по теме «Алюминий»	143
12.5.1. Ацетилацетонат алюминия	143
12.5.2. Безводный бромид алюминия	144
13. Углерод, кремний	147
13.1. Оксид углерода(+4)	147
13.2. Соли угольной кислоты.	147
13.3. Свойства кремния	148
13.4. Силикаты.	148
13.5. Гидрогель и гидрозоль кремниевой кислоты	149
13.6. Синтезы по теме «Углерод, кремний»	149
13.6.1. Оксид углерода(+2)	149

13.6.2.	Кристаллический кремний.	151
13.6.3.	Гексафторокремниевая кислота	152
13.6.4.	Силицид магния и силаны	153
13.7.	Практикум повышенной сложности по теме «Кремний»	153
13.7.1.	Тетраацетат кремния	153
13.7.2.	Тетраизопропоксисилан	155
14.	Олово, свинец	156
14.1.	Получение и свойства олова	156
14.2.	Соединения олова(+2).	156
14.3.	α - и β -Оловянные кислоты	157
14.4.	Сульфиды и тиосоли олова	157
14.5.	Получение и свойства свинца	158
14.6.	Оксиды и гидроксиды свинца	158
14.7.	Соли свинца	159
14.8.	Синтезы по теме «Олово, свинец»	160
14.8.1.	Оксид олова(+2)	160
14.8.2.	Тетрахлорид олова	161
14.8.3.	Гексахлоростаннат(+4) аммония	161
14.8.4.	Тригидрат ацетата свинца(+2).	163
14.8.5.	Кристаллический сульфид свинца	163
14.8.6.	Оксид свинца(+2) (желтая и красная модификации) . . .	163
14.8.7.	Свинцовый сурик	164
14.8.8.	Оксид свинца(+4)	164
14.9.	Практикум повышенной сложности по теме «Олово, свинец» .	165
14.9.1.	Тетраиодид олова	165
14.9.2.	Тетраацетат свинца	166
14.9.3.	Гексахлороплумбат(+4) аммония.	167
15.	Азот	169
15.1.	Получение и свойства аммиака	169
15.2.	Соли аммония	169
15.3.	Соли гидразиния и гидроксиламмония.	170
15.4.	Азотистая кислота и ее соли	171
15.5.	Азотная кислота и ее соли	172
15.6.	Синтезы по теме «Азот»	173
15.6.1.	Оксид азота(+2)	173
15.6.2.	Оксид азота(+3)	174
15.6.3.	Оксид азота(+4)	174
15.6.4.	Дымящая азотная кислота	175
15.6.5.	Хлорид нитрозила.	177
15.6.6.	Гексахлоростаннат(+4) нитрозония.	178
15.7.	Практикум повышенной сложности по теме «Азот»	179
15.7.1.	Нитрид магния.	179
15.7.2.	Сульфат гидразиния	180
15.7.3.	Хлорид гидроксиламмония	181
16.	Фосфор	183
16.1.	Белый фосфор	183
16.2.	Соли фосфорноватистой кислоты	183

16.3. Соли фосфористой кислоты	184
16.4. Фосфорный ангидрид	184
16.5. Метафосфорная кислота и метафосфаты	184
16.6. Соли пиропосфорной кислоты	185
16.7. Ортофосфорная кислота и фосфаты	185
16.8. Синтезы по теме «Фосфор»	186
16.8.1. Пентахлорид фосфора	186
16.8.2. Трихлорид фосфора	187
16.8.3. Оксотрихлорид фосфора	189
16.9. Практикум повышенной сложности по теме «Фосфор»	189
16.9.1. Трибромид фосфора	189
16.9.2. Монотиофосфат натрия	190
17. Сурьма, висмут	193
17.1. Свойства сурьмы.	193
17.2. Оксид сурьмы(+3)	193
17.3. Оксид сурьмы(+5)	193
17.4. Сульфиды и тиосоли сурьмы(+3)	193
17.5. Получение и свойства висмута.	194
17.6. Соединения висмута(+3)	194
17.7. Соединения висмута(+5)	195
17.8. Синтез по теме «Сурьма»	195
17.8.1. Сурьмянистый водород (стибин).	195
17.9. Практикум повышенной сложности по теме «Сурьма, висмут».	196
17.9.1. Триiodид сурьмы	196
17.9.2. Трибромид сурьмы	197
17.9.3. Гексахлороантимонат(+5) калия	198
17.9.4. Пентахлорид сурьмы	199
17.9.5. Гексахлороантимонат(+5) нитрозония	200
17.9.6. Безводный нитрат висмута(+3)	200
18. Кислород	202
18.1. Получение кислорода	202
18.2. Свойства кислорода	202
18.3. Пероксид водорода	203
18.4. Синтез по теме «Кислород»	203
18.4.1. Хемилюминесценция (синглетный кислород).	203
19. Сера	205
19.1. Модификации серы	205
19.2. Сероводород	205
19.3. Сульфиды металлов	206
19.4. Оксид серы(+4)	207
19.5. Серная кислота и ее соли	209
19.6. Свойства тиосульфата натрия	210
19.7. Свойства пероксодисульфата калия.	211
19.8. Синтезы по теме «Сера»	211
19.8.1. Получение серной кислоты нитрозным способом	211
19.8.2. Тиосульфат натрия	212

19.8.3. Выделение пентагидрата сульфата меди из продуктов взаимодействия серной кислоты с медью	213
19.9. Практикум повышенной сложности по теме «Сера»	213
19.9.1. Монохлорид серы	213
19.9.2. Хлорид тионила	216
19.9.3. Хлорид сульфурила	217
19.9.4. Сульфид бария	218
19.9.5. Гидросульфид аммония	219
19.9.6. Пероксодисульфат калия	220
19.9.7. Гидросульфат нитрозония (нитрозилсерная кислота)	221
20. Галогены	224
20.1. Хлор	224
20.2. Бром	226
20.3. Иод	229
20.4. Галогениды металлов	230
20.5. Галогениды водорода	232
20.6. Синтезы по теме «Галогены»	236
20.6.1. Хлориды кобальта(+2), никеля(+2), хрома(+3) (хлорирование металлов)	236
20.6.2. Моногидрат тетрахлороиодата(+3) калия	238
20.6.3. Хлорат калия	239
20.6.4. Бромат калия	241
20.6.5. Иодноватая кислота	242
20.6.6. Иодат калия	242
20.6.7. Кислый иодат калия	243
20.6.8. Периодат калия	243
20.7. Практикум повышенной сложности по теме «Галогены»	243
20.7.1. Трихлорид иода	243
20.7.2. Хлорат калия (получение методом электролиза)	245
20.7.3. Белильная известь	246
ЧАСТЬ V. ХИМИЯ <i>d</i>-ЭЛЕМЕНТОВ	249
21. Титан	250
21.1. Свойства титана	250
21.2. Соединения титана(+4)	250
21.3. Соединения титана(+3)	251
21.4. Синтезы по теме «Титан»	252
21.4.1. Трисульфатотитанат(+4) калия	252
21.4.2. Метатитанат(+4) калия, K_2TiO_3	252
21.4.3. Цезиевотитановые квасцы	252
21.4.4. Пентафторопероксотитанат(+4) аммония, $(NH_4)_3[Ti(O_2)F_5]$	253
21.5. Практикум повышенной сложности по теме «Титан»	253
21.5.1. Тетрахлорид титана	253
21.5.2. Гексахлоротитанат(+4) аммония	255
21.5.3. Дихлорид бисацетилацетоната титана(+4)	256
22. Ванадий	258
22.1. Свойства ванадия	258

22.2. Соединения ванадия(+5)	258
22.3. Соединения ванадия в низших степенях окисления	259
22.4. Синтезы по теме «Ванадий»	261
22.4.1. Алюмотермическое получение ванадия	261
22.4.2. Гексагидрат хлорида ванадия(+3).	261
22.4.3. Триоксалатованадат(+3) калия	262
22.4.4. Ванадиевые бронзы	263
22.4.5. Бисацетилацетонат оксованадия(+4)	263
22.5. Практикум повышенной сложности по теме «Ванадий»	264
22.5.1. Тетрахлорид ванадия	264
22.5.2. Оксид ванадия(+3)	264
22.5.3. Гексафторованадат(+3) аммония	265
22.5.4. Оксотрихлорид ванадия	267
22.5.5. Нитрат диоксованадия	268
23. Хром	269
23.1. Соединения хрома(+2)	269
23.2. Соединения хрома(+3)	269
23.3. Соединения хрома(+6)	271
23.4. Синтезы по теме «Хром»	272
23.4.1. Получение хрома методом алюмотермии.	272
23.4.2. Хлорид гексааквахрома(+3)	272
23.4.3. Моногидрат хлорида пентааквахлорохрома(+3)	273
23.4.4. Хромокалиевые квасцы	273
23.4.5. Изоморфный рост кристалла алюмокалиевых квасцов на монокристалле хромокалиевых квасцов	275
23.4.6. Хлорид хрома(+3)	275
23.4.7. Тригидрат триоксалатохромата(+3) калия.	276
23.4.8. Гексароданохромат(+3) калия	276
23.4.9. Диоксодихлорид хрома(+6)	277
23.4.10. Триоксохлорохромат(+6) калия	278
23.4.11. Хлорид гекса(мочевина)хрома(+3), [Cr(OCN ₂ H ₄) ₆]Cl ₃ · 3H ₂ O.	278
23.4.12. Ацетат хрома(+2)	278
23.4.13. Тетраметиламмония* дихромо(+2)-(тетра- ацетато)диизотиоцианат, (NMe ₄) ₂ [Cr ₂ (OAc) ₄ (NCS) ₂] (* — или тетраэтиламмония)	280
23.4.14. Родохромхлорид, [(NH ₃) ₅ Cr(OH)Cr(NH ₃) ₅]Cl ₅	280
23.4.15. Эритрохромхлорид, [(NH ₃) ₅ Cr(OH)Cr(NH ₃) ₄ (H ₂ O)]Cl ₅	281
23.5. Практикум повышенной сложности по теме «Хром».	281
23.5.1. Хлорид хрома(+3) (получение из оксида хрома(+3))	281
23.5.2. Сульфид хрома(+3)	283
23.5.3. Нитрид хрома(+3)	284
23.5.4. Гексатиоцианатохромат(+3) пиперидиния.	284
23.5.5. Диамминтетратиоцианатохромат(+3) аммония (соль Рейнеке)	284
23.5.6. Ацетилацетонат хрома(+3).	286
24. Молибден, вольфрам	287
24.1. Соединения молибдена(+6) и вольфрама(+6)	287
24.2. Синтезы по теме «Молибден, вольфрам»	288

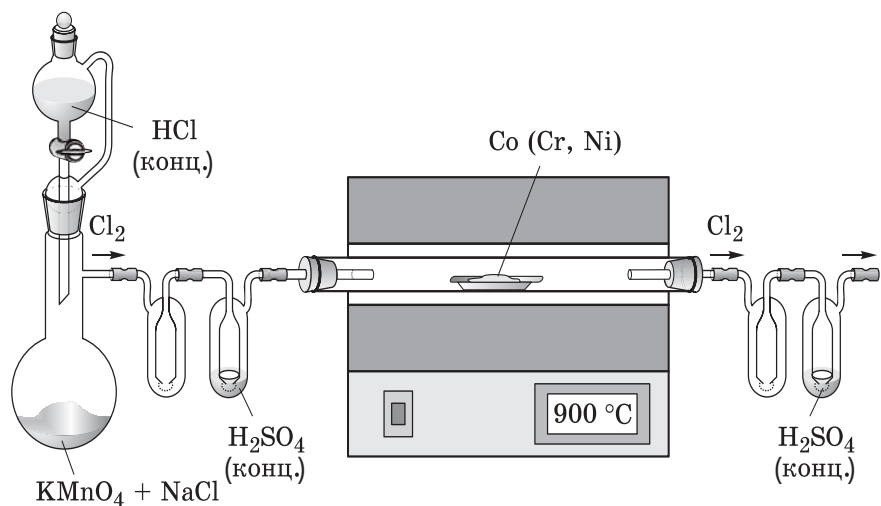
24.2.1. Оксид молибдена(+6)	288
24.2.2. Тетрагидрат гептамолибдата(+6) аммония.	288
24.2.3. Пентахлорооксомолибдат(+5) аммония	289
24.2.4. Тетратиомолибдат(+6) аммония.	289
24.2.5. Бисацетилацетонат диоксомолибдена(+6)	290
24.2.6. Полиоксометаллат Mo_{132} , (NH_4) ₄₂ [$\text{Mo}^{+6}_{72}\text{Mo}^{+5}_{60}\text{O}_{372}(\text{CH}_3\text{COO})_{80}(\text{H}_2\text{O})_{72}$] · ~300 H_2O	290
24.3. Практикум повышенной сложности по теме «Молибден, вольфрам»	290
24.3.1. Гексахлоромолибдат(+3) аммония	290
24.3.2. Дибромид молибдена	292
24.3.3. Вольфрамовые бронзы	293
25. Марганец	294
25.1. Соединения марганца(+2)	294
25.2. Соединения марганца(+3)	294
25.3. Оксид марганца(+4).	295
25.4. Манганат(+5) натрия	295
25.5. Манганат(+6) калия.	295
25.6. Перманганат калия	296
25.7. Синтезы по теме «Марганец»	296
25.7.1. Получение марганца методом алюмотермии.	296
25.7.2. Тригидрат триоксалатоманганата(+3) калия	297
25.7.3. Гексахлороманганат(+4) калия и моногидрат пентахлороманганата(+3) калия	297
25.7.4. 13-Ванадоманганат(+4) калия, $\text{K}_7[\text{MnV}_{13}\text{O}_{38}] \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	298
25.7.5. Манганат(+5) натрия	298
25.7.6. Манганат(+6) калия.	299
25.8. Практикум повышенной сложности по теме «Марганец»	299
25.8.1. Оксид марганца(+2).	299
25.8.2. Безводный хлорид марганца(+2) (гидрохлорирование)	300
25.8.3. Оксоацетат марганца(+3).	302
25.8.4. Молибдоманганат(+4) аммония, $(\text{NH}_4)_6[\text{MnMo}_9\text{O}_{32}] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	303
25.8.5. Манганат(+6) натрия	304
26. Железо, кобальт, никель	306
26.1. Свойства железа	306
26.2. Гидроксиды и оксиды железа, кобальта и никеля	306
26.3. Соли железа	308
26.4. Соли кобальта(+2) и никеля(+2).	309
26.5. Комплексные соединения кобальта и никеля	309
26.6. Синтезы по теме «Железо, кобальт, никель»	310
26.6.1. Оксид железа(+2)	310
26.6.2. Соль Мора	311
26.6.3. Безводный хлорид железа(+3).	311
26.6.4. Хлорид железа(+2)	311
26.6.5. Триоксалатоферрат(+3) калия.	312
26.6.6. Ацетилацетонат железа(+3)	313
26.6.7. Гексанитрокобальтат(+3) натрия	313
26.6.8. Хлорид гексаамминкобальта(+3)	314

26.6.9. Хлорид пентаамминхлорокобальта(+3)	314
26.6.10. Триоксалатокобальтат(+3) калия	315
26.6.11. Сульфат декаамминсупероксодикобальта(+3), [Co(NH ₃) ₅ (O ₂)Co(NH ₃) ₅ (SO ₄) ₂ (HSO ₄)] · 3H ₂ O.	315
26.6.12. Получение алюмокобальтовой шпинели	316
26.6.13. Гексагидрат сульфата аммония и никеля (аналог соли Мора)	316
26.6.14. Бромид (иодид) гексаамминникеля(+2).	316
26.6.15. Молибдоникелат(+4) аммония, (NH ₄) ₆ [NiMo ₉ O ₃₂] · 6,5H ₂ O	317
26.7. Практикум повышенной сложности по теме «Железо, кобальт, никель»	317
26.7.1. Дибромид железа	317
26.7.2. Хлорид кобальта(+2) (получение из оксида кобальта(+2, +3))	318
26.7.3. Хлорид кобальта(+2) (гидрохлорирование)	318
26.7.4. Хлорид гексаамминкобальта(+2)	318
27. Медь, серебро	320
27.1. Получение и свойства меди	320
27.2. Соединения меди(+1)	320
27.3. Соединения меди(+2)	321
27.4. Получение и свойства серебра	322
27.5. Соединения серебра	323
27.6. Серебрение	324
27.7. Синтезы по теме «Медь»	324
27.7.1. Гексагидрат двойного сульфата аммония и меди (аналог соли Мора)	324
27.7.2. Ацетилацетонат меди(+2)	325
27.7.3. Бисоксалатокупрат(+2) калия.	325
27.7.4. Сульфат тетраамминдиаквамеди(+2).	325
27.7.5. Дигидрат хлорида меди(+2)	326
27.7.6. Периодатокупрат(+3) натрия, Na ₅ [Cu(HIO ₆) ₂]	326
27.8. Практикум повышенной сложности по теме «Медь»	327
27.8.1. Безводный хлорид меди(+2)	327
28. Цинк, кадмий, ртуть	329
28.1. Соединения цинка и кадмия	329
28.2. Соединения ртути	330
28.3. Синтезы по теме «Цинк, кадмий»	331
28.3.1. Гексагидрат двойной соли сульфатов аммония и цинка (аналог соли Мора)	331
28.3.2. Смешанные оксиды цинка и кобальта (Ринманова зелень)	331
28.3.3. Тетрапероксомолибдат(+6) тетраамминцинка, [Zn(NH ₃) ₄][Mo(O ₂) ₄]	332
28.3.4. Иодид кадмия	332
28.3.5. Карбонат кадмия	333
28.3.6. Получение пленки сульфида кадмия	333
28.4. Практикум повышенной сложности по теме «Цинк, кадмий»	333
28.4.1. Тетрааммиакат иодида цинка	333

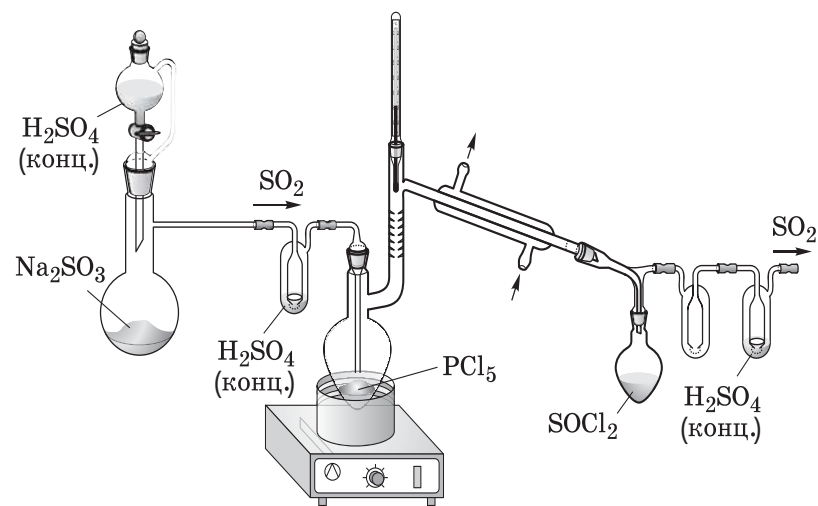
28.4.2. Дибромид кадмия	334
29. Редкоземельные элементы.	335
29.1. Соединения церия	335
29.2. Соединения лантана	336
29.3. Синтезы по теме «Редкоземельные элементы»	336
29.3.1. Гексанитратоцеррат(+4) аммония, $(\text{NH}_4)_2[\text{Ce}(\text{NO}_3)_6]$. . .	336
29.3.2. Получение оксида празеодима(+3), Pr_2O_3 , из оксида празеодима(+3, +4), Pr_6O_{11}	337
Приложение 1	339
Курсовая работа по неорганической химии	339
Этапы выполнения курсовой работы	339
Приложение 2	345
Справочные таблицы	345
Приложение 3	449
Стандартные потенциалы (E° , В) по отношению к потенциалу стандартного водородного электрода при 25 °С	449
<i>s</i> -элементы	449
<i>p</i> -элементы	450
<i>d</i> -элементы	454
<i>f</i> -элементы	461
Литература	463

СОВРЕМЕННАЯ ФОРМА ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ТАБЛИЦЫ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

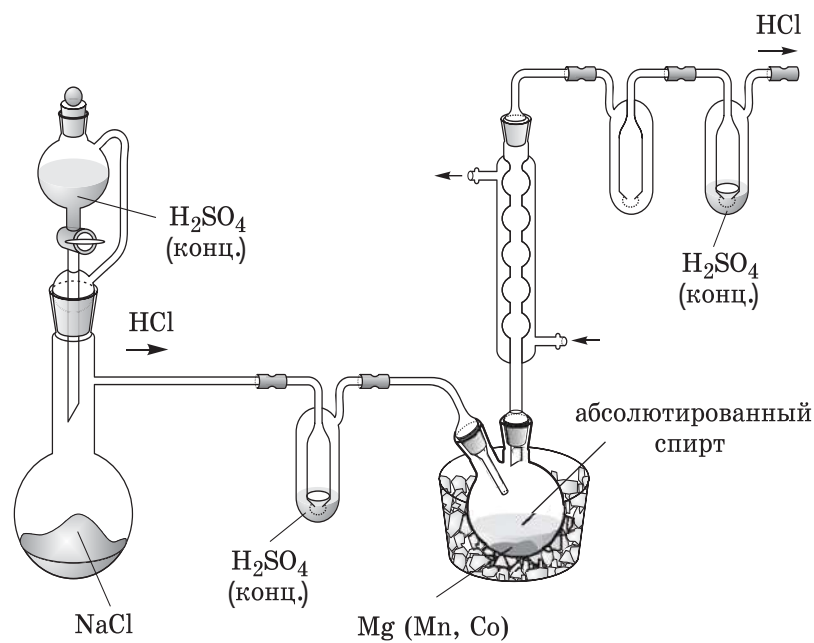
1	2											13	14	15	16	17	18
1 1 H ВОДОРОД 1,00794																	2 He ГЕЛИЙ 4,002602
2 3 Li ЛИТИЙ 6,941	4 Be БЕРИЛЛИЙ 9,012182	H – s-элементы B – p-элементы V – d-элементы U – f-элементы										5 B БОР 10,821	6 C УГЛЕРОД 12,011	7 N АЗОТ 14,00674	8 O КИСЛОРОД 15,9994	9 F ФТОР 18,9984032	10 Ne НЕОН 20,1797
3 11 Na НАТРИЙ 22,989778	12 Mg МАГНИЙ 24,3050	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 Al АЛЮМИНИЙ 26,981539	14 Si КРЕМНИЙ 28,0855	15 P ФОСФОР 30,973762	16 S СЕРА 32,066	17 Cl ХЛОР 35,457	18 Ar АРГОН 39,948
4 19 K КАЛИЙ 39,0983766	20 Ca КАЛЬЦИЙ 40,078	21 Sc СКАНДИЙ 44,955910	22 Ti ТИТАН 47,867	23 V ВАНАДИЙ 50,9415	24 Cr ХРОМ 51,9961	25 Mn МАРГАНЕЦ 54,93805	26 Fe ЖЕЛЕЗО 55,845	27 Co КОБАЛЬТ 58,93320	28 Ni НИКЕЛЬ 58,6934	29 Cu МЕДЬ 63,546	30 Zn ЦИНК 65,38	31 Ga ГАЛЛИЙ 69,723	32 Ge ГЕРМАНИЙ 72,630	33 As МЫШЬЯК 74,92159	34 Se СЕЛЕН 78,971	35 Br БРОМ 79,904	36 Kr КРИПТОН 83,798
5 37 Rb РУБИДИЙ 85,4678	38 Sr СТРОНЦИЙ 87,62	39 Y ИТРИЙ 88,90584	40 Zr ЦИРКОНИЙ 91,224	41 Nb НИОБИЙ 92,90637	42 Mo МОЛИБДЕН 95,95	43 Tc ТЕХНЕЦИЙ 98	44 Ru РУТЕНИЙ 101,07	45 Rh РОДИЙ 102,90550	46 Pd ПАЛЛАДИЙ 106,42	47 Ag СЕРЕБРО 107,8682	48 Cd КАДМИЙ 112,414	49 In ИНДИЙ 114,818	50 Sn ОЛОВО 118,710	51 Sb СУРЬМА 121,760	52 Te ТЕЛЛУР 127,60	53 I ИОД 126,90447	54 Xe КСЕНОН 131,293
6 55 Cs ЦЕЗИЙ 132,9055	56 Ba БАРИЙ 137,327	57 La ЛАНТАН 138,9055	72 Hf ГАФИЙ 178,49	73 Ta ТАНТАЛ 180,9479	74 W ВОЛЬФРАМ 183,84	75 Re РЕНИЙ 186,207	76 Os ОСМИЙ 190,23	77 Ir ИРИДИЙ 192,217	78 Pt ПЛАТИНА 195,084	79 Au ЗОЛОТО 196,96657	80 Hg РТУТЬ 200,592	81 Tl ТАЛЛИЙ 204,3833	82 Pb СВИНЕЦ 207,2	83 Bi ВИСМУТ 208,98040	84 Po ПОЛОНИЙ [209]	85 At АСТАТ [210]	86 Rn РАДОН [222]
7 87 Fr ФРАНЦИЙ [223]	88 Ra РАДИЙ [226]	89 Ac АКТИНИЙ [227]	104 Rf РЕЗЕРФОРДИЙ [267]	105 Db ДУБНИЙ [268]	106 Sg СИБОРГИЙ [269]	107 Bh БОРИЙ [270]	108 Hs ХАССИЙ [270]	109 Mt МЕЙТНЕРИЙ [278]	110 Ds ДАРМШТАДИЙ [281]	111 Rg РЕНТГЕНИЙ [282]	112 Cn КОПЕРНИЦИЙ [285]	113 Nh НИХОНИЙ [286]	114 Fl ФЛЕРОВИЙ [289]	115 Mc МОСКОВИЙ [289]	116 Lv ЛИВЕРМОРИЙ [293]	117 Ts ТЕННЕССИН [294]	118 Og ОГАНЕСОН [294]
			ЛАНТАНОИДЫ АКТИНОИДЫ														
			58 Ce ЦЕРИЙ 140,116	59 Pr ПРАЗЕОДИМ 140,90766	60 Nd НЕОДИМ 144,242	61 Pm ПРОМЕТИЙ [145]	62 Sm САМАРИЙ 150,36	63 Eu ЕВРОПИЙ 151,964	64 Gd ГАДОЛИНИЙ 157,25	65 Tb ТЕРБИЙ 158,92534	66 Dy ДИСПРОЗИЙ 162,50	67 Ho ГОЛЬМИЙ 164,930	68 Er ЭРБИЙ 167,259	69 Tm ТУЛЛИЙ 168,93421	70 Yb ИТТЕРБИЙ 173,045	71 Lu ЛЮТЕЦИЙ 174,967	
			90 Th ТОРИЙ 232,0377	91 Pa ПРОТАКТИНИЙ 231,03588	92 U УРАН 238,0289	93 Np НЕПТУНИЙ [237]	94 Pu ПЛУТОНИЙ [244]	95 Am АМЕРИЦИЙ [243]	96 Cm КЮРИЙ [247]	97 Bk БЕРКЛИЙ [247]	98 Cf КАЛИФОРНИЙ [251]	99 Es ЭЙНШТЕЙНИЙ [252]	100 Fm ФЕРМИЙ [257]	101 Md МЕНДЕЛЕВИЙ [258]	102 No НОБЕЛИЙ [259]	103 Lr ЛОУРЕНСИЙ [262]	



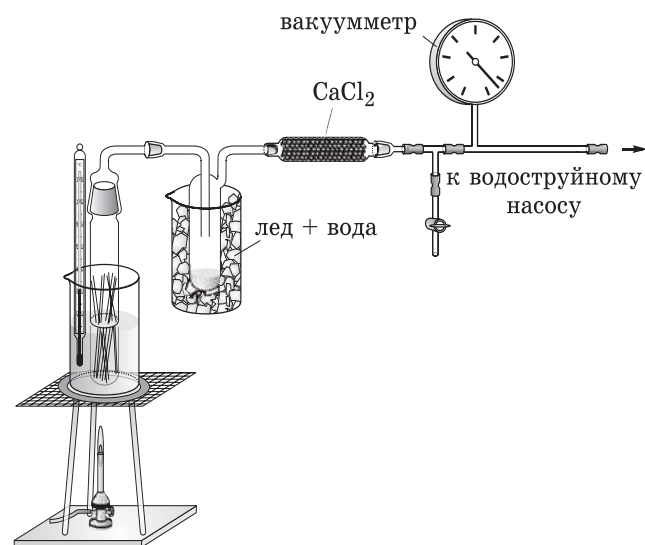
Прибор для получения безводных хлоридов металлов
(высокотемпературное хлорирование)



Прибор для получения хлорида тионила



Прибор для получения безводных хлоридов металлов
в абсолютном спирте
(низкотемпературное гидрохлорирование)



Прибор для отгонки растворителя в вакууме

Минимальные системные требования определяются соответствующими требованиями программ Adobe Reader версии не ниже 11-й либо Adobe Digital Editions версии не ниже 4.5 для платформ Windows, Mac OS, Android и iOS; экран 10"

Учебное электронное издание

Ардашникова Елена Иосифовна
Демидова Елена Дмитриевна
Алёшин Владимир Алексеевич

НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ.
ПРАКТИКУМ

Ведущий редактор канд. хим. наук *Д. К. Новикова*
Художественный редактор *В. А. Прокудин*
Технический редактор *Т. Ю. Федорова*
Корректор *И. Н. Панкова*
Компьютерная верстка: *В. И. Савельев*

Подписано к использованию 19.10.20.
Формат 145×225 мм

Издательство «Лаборатория знаний»
125167, Москва, проезд Аэропорта, д. 3
Телефон: (499) 157-5272
e-mail: info@pilotLZ.ru, <http://www.pilotLZ.ru>

