

ПРАКТИКУМ ПО НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ

Под редакцией академика РАН профессора Ю. Д. ТРЕТЬЯКОВА

Рекомендовано

*Министерством образования Российской Федерации в качестве учебного пособия
для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 510500 «Химия»
и специальности 011000 «Химия»*

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА
КУБАНСКОГО
ГОСУНИВЕРСИТЕТА

Москва


ACADEMA
2004

УДК 546(075.8)
ББК 24.1я73
П69

Рецензенты:
профессор кафедры неорганической химии МГАТХТ им. М. В. Ломоносова (МИТХТ)
Л. Ю. Аликберов;
профессор, д-р хим. наук *А. Б. Ярославцев*

Практикум по неорганической химии: Учеб. пособие для студ. высш.
П69 учеб. заведений / В. А. Алешин, К. М. Дунаева, А. И. Жиров и др.; Под ред.
Ю. Д. Третьякова — М.: Издательский центр «Академия», 2004. — 384 с.
ISBN 5-7695-1568-6

Приведены практические задания по физико-химическим основам неорганической химии, химии элементов. Подробно описана методика выполнения лабораторных работ. Большое внимание уделено технике проведения химического эксперимента. Приведено подробное описание методик синтезов повышенной сложности.

Для студентов высших учебных заведений.

УДК 546(075.8)
ББК 24.1я73

Учебное издание

**Алешин Владимир Алексеевич, Дунаева Ксения Михайловна,
Жиров Александр Иванович, Киселев Юрий Михайлович,
Корнев Юрий Михайлович, Субботина Нелла Александровна,
Тамм Марина Евгеньевна**

Практикум по неорганической химии

Учебное пособие

Редактор *А. В. Савенков*
Технические редакторы *Е. Ф. Коржуева, Н. И. Горбачева*
Компьютерная верстка: *О. В. Пешкетова*
Корректоры *Л. С. Зенович, А. П. Сизова*
Диапозитивы предоставлены издательством.

Изд. № А-1008-І. Подписано в печать 30.01.2004. Формат 70 × 100/16. Гарнитура «Таймс».
Печать офсетная. Бумага тип. № 2. Усл. печ. л. 31,2. Тираж 5100 экз. Заказ №12950.

Лицензия ИД № 02025 от 13.06.2000. Издательский центр «Академия».
Санитарно-эпидемиологическое заключение № 77.99.02.953.Д.003903.06.03 от 05.06.2003.
117342, Москва, ул. Бултерова, 17-Б, к. 223. Тел./факс: (095) 330-1092, 334-8337.

Отпечатано на Саратовском полиграфическом комбинате.
410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, 59.

ISBN 5-7695-1568-6

© Коллектив авторов, 2004
© Издательский центр «Академия», 2004

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее руководство к лабораторным и практическим занятиям входит в комплект учебных пособий, подготовленных кафедрой неорганической химии химического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова под редакцией академика Ю. Д. Третьякова. Оно предназначено для студентов первого курса химических специальностей университетов и профильных вузов.

Практикум составлен в соответствии с учебной программой и является основным руководством для занятий по неорганической химии, и 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.

Данная книга состоит из четырех разделов: I. Техника лабораторных работ; II. Физико-химические основы неорганической химии; III. Химия элементов; IV. Опыты и синтезы повышенной сложности. Справочные таблицы приведены в Приложении. В практикуме представлены задачи трех уровней сложности, что позволяет варьировать индивидуальные задания для студентов и использовать в учебных курсах с разной глубиной изучения неорганической химии. Для описания выполняемых операций максимально используется иллюстративный материал.

Данное пособие повторяет построение предыдущих практических руководств, последнее из которых увидело свет в 1994 г. (Практикум по неорганической химии / Под ред. В. П. Зломанова. — М.: МГУ, 1994), но существенно от него отличается. Переработаны методики синтезов и подготовлены новые иллюстрации, заново написан раздел, посвященный технике проведения лабораторного эксперимента, существенно расширены и обновлены справочные таблицы. Особое внимание уделено экономии химических реактивов. Для этого предлагается использовать методики микро- и полумикросинтеза и анализа. В книге приводится подробное описание синтезов повышенной сложности.

В первом разделе практикума изложены основные приемы безопасной работы в химической лаборатории от сборки прибора, проведения химического эксперимента, выделения и очистки синтезируемых соединений до идентификации получаемых, рассмотрены химическая посуда и ее назначение, принципы обращения с химическими реактивами и основы работы в лаборатории: правила взвешивания и способы приготовления растворов, приемы нагревания и охлаждения реакционных сосудов, фильтрования, очистки веществ с использованием методов перекристаллизации, дистилляции и сублимации; подробно изложены описание сборки приборов и проверка их герметичности; особое внимание уделено способам получения газов и принципам сборки безопасных в работе приборов, приемам нагревания и охлаждения реакционных

сосудов. Для идентификации получаемых соединений предлагается использовать приемы качественного химического анализа без применения специальных реактивов, а также определения их физических характеристик, таких как температуры кипения и плавления, плотность.

Во втором разделе рассмотрены способы очистки веществ, дано определение химических эквивалентов металлов, тепловые эффекты химических реакций, химическое равновесие, растворы; электролитическая диссоциация; скорость химических реакций.

В основных — третьем и четвертом — разделах излагаются методы изучения химии элементов, синтеза важнейших неорганических соединений и исследования их свойств. Последовательность и содержание практических работ позволяют проследить логические связи «состав — строение — свойства». Задачи разделены по трем уровням сложности. Вначале проводятся опыты по качественному исследованию свойств химических веществ с целью более полного усвоения фактического материала. После выполнения каждого из заданий студенты пишут уравнения реакций и отвечают письменно на поставленные в задании вопросы. Затем проводят один или несколько синтезов по изучаемой теме. В дополнение предлагаются опыты и синтезы повышенной сложности, выполняемые, как правило, в специально оборудованном помещении с использованием особых мер безопасности.

Практическим занятиям предшествуют лекции и семинары по соответствующей теме. Такое объединение теоретических и практических занятий способствует более глубокому усвоению изучаемого материала. Завершается практиicum выполнением курсовой работы в студенческой или научной лаборатории.

В приложениях даны рекомендации по сбору научной литературы и выполнению экспериментальной части курсовой работы; представлены важнейшие справочные материалы по свойствам основных неорганических веществ. Этот материал может быть использован студентами как при объяснении многих закономерностей неорганической химии, так и при решении задач.

Авторы выражают искреннюю благодарность всем преподавателям и сотрудникам кафедры неорганической химии МГУ им. М. В. Ломоносова, а также доцентам Е. И. Ардашниковой, А. Н. Григорьеву, Н. А. Добрыниной, Е. А. Лавут и В. И. Путляеву за ценные советы и замечания по содержанию и оформлению практикума.

РАЗДЕЛ I

ТЕХНИКА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

ГЛАВА 1

ОСНОВНЫЕ ПРИЕМЫ 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 детально изучить по руководству к практическим занятиям описания опытов и синтезов, ознакомиться по учебникам и справочным пособиям со свойствами изучаемых и используемых веществ, с теоретическим материалом по данной теме, произвести необходимые расчеты и оформить рабочий журнал. Особое внимание следует уделить безопасности выполнения химического эксперимента. Только наличие оформленного рабочего журнала, твердых знаний по методикам проведения опытов и синтезов, а также по химическим и физическим свойствам получаемых и используемых веществ являются основанием для допуска студента к выполнению практической работы.

Опыты и синтезы проводятся в студенческой химической лаборатории, оборудованной вытяжными шкафами и лабораторными столами. Студенту отводится постоянное рабочее место (рабочий стол), которое он поддерживает в полной чистоте и порядке. На рабочем столе во время занятий могут находиться

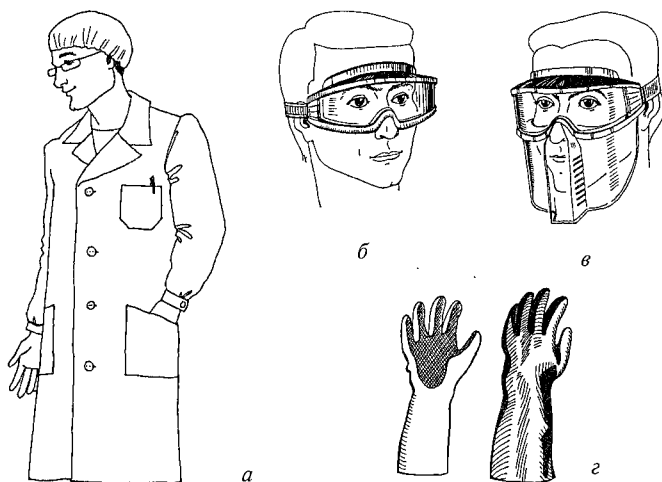


Рис. 1. Индивидуальные средства защиты:

a — халат, шапочка; *б* — очки;
в — маска; *г* — перчатки

ся только необходимые для работы в данное время предметы. Все работы, за небольшим исключением, выполняются студентом индивидуально.

При проведении опытов необходимо обезопасить себя от случайного попадания химических веществ (рис. 1). Для этого служит длинный, ниже колен, рабочий халат из хлопковой или хлопчатобумажной ткани, застегивающийся спереди. В кармане халата всегда должно быть маленькое чистое сухое полотенце или платок для быстрого удаления попавших на кожу твердых и жидких реагентов. При работе с особо опасными веществами дополнительно надевают длинный, до пола, фартук из поливинилхлорида и нарукавники. Для защиты лица и глаз используют защитные маски и защитные очки, для защиты рук — специальные защитные перчатки, а для защиты дыхательных путей при измельчении веществ — респираторы. Волосы должны быть тщательно убраны под шапочку (платочек) или надежно закреплены и не свисать по сторонам. Не рекомендуется приходить в лабораторию в легко воспламеняющейся одежде из синтетики.

При работе необходимо строго соблюдать все правила безопасности.

1.2. Правила безопасности при работе в лаборатории

1. Вся работа должна быть предварительно тщательно спланирована студентом и одобрена преподавателем. Любое действие, особенно выполняемое впервые, обязательно согласуйте с преподавателем или лаборантом.

2. В лаборатории можно находиться только в рабочем халате из хлопковой или хлопчатобумажной ткани (но не из синтетики!).

3. Принимать пищу в лаборатории запрещается. Перед выходом из лаборатории тщательно мойте руки с мылом.

4. Не рекомендуется без необходимости покидать свое рабочее место.

5. Эксперименты проводите в защитных очках или маске.

6. Все опыты с ядовитыми, едкими, пахучими и т. п. веществами выполняйте только в вытяжном шкафу.

7. С едкими веществами работайте в очках (маске) и защитных перчатках.

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

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

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

11. При отборе жидкостей пипетками пользуйтесь специальными грушами (пипетаторами или дозаторами).

12. Все необходимые для работы вещества и растворы готовьте до начала эксперимента.

13. Перед проведением опыта или синтеза проверяйте работу оборудования.

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

15. При проведении синтеза не оставляйте прибор без присмотра.

16. Все химические опыты и синтезы выполняйте стоя, не сидите возле работающего прибора.

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

18. Не наклоняйтесь над приборами, в которых идет синтез, упаривание, сплавление, фильтрование под пониженным давлением и т. п.

19. Опасные продукты реакции сливайте только в соответствующие банки в вытяжном шкафу или нейтрализуйте.

20. Неизрасходованные реактивы ни в коем случае не высыпайте (не выливайте) обратно в материальные склянки, а сдавайте лаборанту.

Выполнение этих несложных правил должно вас обезопасить, но если несчастный случай все же произошел, то необходимо уметь оказать первую помощь, а затем обратиться к врачу.

1.3. Оказание первой медицинской помощи

Термический ожог. Если ожог слабый и на очень небольшом участке — наложите повязку из спиртового раствора таннина. Можно смазать пораженный участок мазью от ожога. Места большого ожога закройте стерильным бинтом и обратитесь к врачу. В этом случае не применяйте мазей и масла. Не вскрывайте пузыри.

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

При попадании на кожу концентрированной серной кислоты или оксида фосфора(V) немедленно удалите их сухой тканью и лишь затем промойте сильной струей воды.

Ожог глаз. Многократно промойте струей воды комнатной температуры! Для этого в случае необходимости откройте глаза чистыми руками! Промывайте так, чтобы вода стекала от носа наружу. Завяжите глаз платком и сразу же обратитесь к врачу. Не применяйте никаких нейтрализующих жидкостей!

Ожог рта, желудка. Выпейте большое количество воды! При попадании кислот пейте взвесь мела, а при попадании щелочей — разбавленный раствор пищевого уксуса (не эссенции!) или лимонной кислоты.

Отравление газами и парами. Пострадавшего немедленно выведите на свежий воздух, создайте покой! Не допускайте вдыхания паров воды! Искусственное дыхание только в случае необходимости. В н и м а н и е! Проводящий искусственное дыхание должен стараться не вдыхать ядовитый газ!

Отравление ядами. Тотчас выпейте насыщенный раствор поваренной соли! Вызовите сильную рвоту, чтобы удалить яд из желудка. Немедленно вызовите врача.

Порез. Нельзя промывать рану водой и накладывать вату! Края раны обработайте антисептиком (3%-ной перекисью водорода и 5%-ной настойкой йода) и закройте стерильным пластырем или бинтом. При попадании инородных тел или тяжелых ранениях вызовите врача. При повреждении артерии наложите жгут на конечность с запиской о времени наложения жгута и тотчас вызовите врача.

Травма глаз и век. Пострадавший должен находиться в положении лежа. Накройте глаз чистой салфеткой. Зафиксируйте салфетку легкой повязкой и обязательно прикройте этой же повязкой второй глаз для прекращения движения глазных яблок. Немедленно обратитесь к врачу!

1.4. Оформление рабочего журнала

При работе в лаборатории (практикуме) необходимо вести рабочий журнал, фиксируя в нем все операции и наблюдения при выполнении опытов и синтезов. Результаты взвешивания, измерения объема, определения температуры, рН и т.д. сразу заносятся в рабочий журнал. Использование черновиков не допускается. В журнале фиксируются реальные режимы проведения опытов и синтезов. Особое внимание следует уделить описанию наблюдаемых явлений, таких как изменение окраски, выделение газов или выпадение осадков. Кристаллические вещества рекомендуется рассмотреть под микроскопом и отметить (зарисовать) их форму.

Для рабочего журнала лучше всего использовать в разворот тетрадь в клетку формата А4. Записи в журнале следует делать синей или черной ручкой, аккуратно и лаконично. Примеры оформления рабочего журнала приведены в табл. 1.

В журнале обязательно надо указать тему, название опыта или синтеза и дату его проведения. Названия пунктов из примеров, такие как «*план работы, уравнения реакций, вопросы, наблюдения, отчет о работе, ответы на вопросы*» можно не давать. Содержание вопросов из практикума не переписывать, давая только краткие ответы.

Рабочий журнал должен содержать два основных раздела: план работы и наблюдения, отчет о проделанной работе, выводы и ответы на вопросы.

Первый раздел заполняется дома и отражает подготовленность студента к занятиям. В этот раздел входят:

а) полные схемы всех приборов (эти схемы с целью экономии места иногда целесообразно помещать в втором разделе);

б) уравнения всех химических реакций;

в) расчеты исходных количеств веществ и теоретического выхода;

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 (для синтезов — поэтапный план) с указанием условий и количеств реагирующих веществ (*методику синтеза не переписывайте!*).

Вторая часть журнала является отчетом о проделанной работе и должна содержать следующие сведения:

а) результаты взвешивания и измерения объема;

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

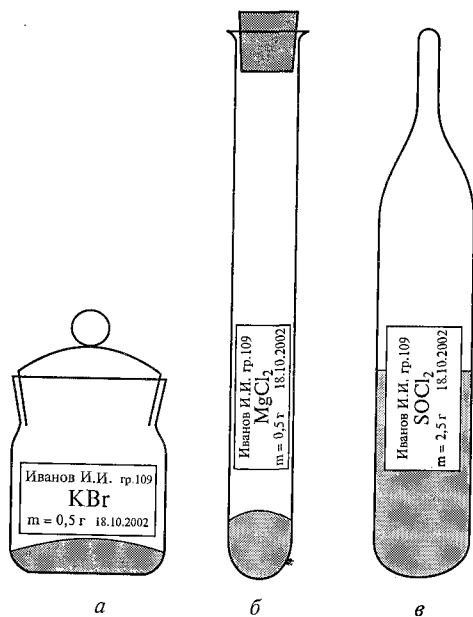


Рис. 2. Бюкс (а), пробирка (б) и запаянная ампула (в) с полученными препаратами

Примеры оформления рабочего журнала (опыты и синтезы)

<p>Тема: Галогены. Раздел: Галогеноводороды. Взаимодействие галогенидов металлов с кислотами</p> <p>Дата 18.10.2002. Название опыта: Изучение взаимодействия NaCl, KBr, KI с концентрированной серной кислотой</p>	<p><i>Наблюдения, отчет о работе, ответы на вопросы</i></p> <p>Опыт 1. $\text{NaCl} + 1 - 2$ капли H_2SO_4 (конц.)</p> <p>а) полоска с универсальным индикатором — $\text{pH} < 7$,</p> <p>б) полоска с раствором KMnO_4 — окраска не изменилась,</p> <p>в) полоска с раствором $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ — окраска не изменилась.</p> <p><i>Выводы:</i> кислая реакция универсального индикатора и отсутствие изменения окраски KMnO_4 и $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ указывают на выделение только HCl:</p> <p>$\text{NaCl (кр)} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ (конц.)} \rightarrow \text{NaHSO}_4 + \text{HCl}\uparrow$</p> <p>Опыт 2. $\text{KBr} + 1 - 2$ капли H_2SO_4 (конц.)</p> <p>а) полоска с универсальным индикатором — $\text{pH} < 7$,</p> <p>б) полоска с раствором KMnO_4 — обесцвечивание окраски,</p> <p>в) полоска с раствором $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ — окраска не изменилась.</p> <p><i>Выводы:</i> кислая реакция универсального индикатора, обесцвечивание KMnO_4 и индикатора, отсутствие изменения окраски $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ указывают на выделение только HBr и SO_2.</p> <p>$\text{KBr (кр)} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ (конц.)} \rightarrow \text{KHSO}_4 + \text{HBr}\uparrow$</p> <p>$2\text{KBr} + 3\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{SO}_2\uparrow + \text{Br}_2 + 2\text{KHSO}_4$</p> <p>Остальные опыты оформляются аналогично.</p>
<p><i>План работы</i></p> <p>1. В три пробирки поместить по 0,5 г NaCl, KBr, KI.</p> <p>2. Подготовить по пять комплектов индикаторов:</p> <p>а) увлажненную бумажку с универсальным индикатором;</p> <p>б) полоски фильтровальной бумаги с подкисленным раствором KMnO_4;</p> <p>в) полоски фильтровальной бумаги с раствором $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$.</p> <p>3. В каждую из пробирок последовательно добавить 1 — 2 капли H_2SO_4 (конц.) и отметить изменение цвета индикатора.</p> <p>4. Повторить этот эксперимент с KBr и KI, добавляя большее количество серной кислоты (так, чтобы она оставалась в пробирке в жидком слое).</p> <p>Возможны следующие химические реакции:</p> <p>а) $\text{MNaI} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{HNaI}\uparrow + \text{MHSO}_4$</p> <p>б) $2\text{MNaI} + 3\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{SO}_2\uparrow + \text{NaI}_2 + 2\text{MHSO}_4$</p> <p>в) $8\text{MNaI} + 9\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{H}_2\text{S}\uparrow + 4\text{NaI}_2 + 8\text{MHSO}_4$</p> <p>$\text{HCl}$ и HBr дают сильнокислую реакцию.</p> <p>HI дает сильнокислую реакцию, обесцвечивает KMnO_4 с выделением иода и образует желтый PbI_2 с $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$.</p> <p>SO_2 дает слабнокислую реакцию и обесцвечивает KMnO_4.</p> <p>H_2S дает слабнокислую реакцию, восстанавливает KMnO_4, с $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ образует PbS черного цвета.</p>	<p><i>Ответы на вопросы</i></p> <p>1. Бромид водорода загрязнен SO_2, иодид водорода загрязнен сероводородом.</p> <p>2. HI — самый сильный восстановитель в ряду $\text{HCl} - \text{HBr} - \text{HI}$, так как восстановление H_2SO_4 идет с образованием H_2S.</p> <p>3. При действии концентрированной серной кислоты на галогениды только хлороводород можно получить без примесей продуктов восстановления серной кислоты.</p>
<p><i>Вопросы (не переписывайте из практикума!)</i></p> <p>1. Назовите основные продукты при реакции KBr и KI с H_2SO_4.</p> <p>2. Какой восстановитель самый сильный в ряду $\text{HCl} - \text{HBr} - \text{HI}$?</p> <p>3. Какие из галогеноводородов можно получить без примесей по реакции $\text{MNaI} + \text{H}_2\text{SO}_4$?</p>	

Дата 18.10.2002	Название синтеза: Синтез трихлорида иода
<p><i>Уравнения реакций и расчеты</i></p> $I_2 + 3Cl_2 \rightarrow 2ICl_3$ <p>253,8 г 3·71 г 2·233,4 г 1,5 г 1,26 г 2,76 г</p>	<p><i>Взвешивание исходных реагентов</i></p> <p>Взвешивание I_2: масса тары — 12,3 г, масса с тарой 13,9 г, масса иода 1,6 г. Теоретический выход — 2,94 г ($KMnO_4$ — 15,7 г, CCl_4 — 15,5 мл).</p> <p>1. При растворении I_2 в CCl_4 раствор стал фиолетовым.</p> <p>2. Через 10 мин пропускания хлора раствор вначале приобрел красноватую окраску, что связано с образованием ICl по реакции: $I_2 + Cl_2 \rightarrow 2ICl$. Реакция сопровождается выделением тепла.</p>
<p><i>Физико-химические свойства</i> I_2, Cl_2, ICl_3, CCl_4</p> <p><i>План работы</i></p> <p>1. Собрать в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рис. А.</p>	<p>3. При дальнейшем пропускании хлора через 20 мин раствор стал цвета дихромата калия, что связано с протеканием реакции $ICl + Cl_2 \rightarrow ICl_3$.</p> <p>4. При стоянии на воздухе вещество расплывается.</p>
<p>2. Промывалку 3 заполнить водой, промывалку 4, 5 и 10 — H_2SO_4 (конц.), а промывалку 6 — сухим тетрагидридом углерода.</p> <p>3. В колбу Вюрца 1 поместить 15 г $KMnO_4$.</p> <p>4. В реактор 9 поместить 1,5 г I_2 и 15 мл сухого CCl_4.</p> <p>5. В капельную воронку 2 налить HCl конц.</p> <p>6. Охладить реактор 9 и промывалку 6 в банях со льдом 7.</p> <p>7. Установить ток хлора 1—2 пузырька в секунду через раствор в реакторе 9 при перемешивании реакционной массы.</p>	<p>5. Взаимодействие с водой: $pH < 7$, при экстракции CCl_4 иод не обнаружен, что свидетельствует о реакции $2ICl_3 + 3H_2O \rightarrow HIO_3 + HICl_2 + 4HCl$. Иод выделяется только при дальнейшем разбавлении за счет реакции $5HICl_2 + 3H_2O \rightarrow HIO_3 + 2I_2 + 10HCl$.</p> <p><i>Вывод.</i> Получено 1,7 г ICl_3 с выходом 58 %, выделение иода отмечено только при растворении в большом избытке воды.</p>
<p>8. После растворения всего иода и изменения окраски раствора до цвета дихромата отсоединить реактор.</p> <p>9. Отфильтровать ICl_3 в сухой инертной атмосфере на воронке с фильтрующим дном (рис. Б).</p> <p>10. Перенести вещество в сухой камере с фильтра в бюкс, взвесить и рассчитать выход.</p> <p>11. Фильтр с остатками вещества оставить на воздухе и отметить наблюдаемые изменения.</p> <p>12. Небольшое количество вещества растворить в 15 мл воды. Определить pH раствора.</p> <p>13. Показать, присутствует ли в растворе иод (укажите, как).</p>	<p>Рис. А. Прибор для получения трихлорида иода:</p> <p>1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3, 6 — промывалки соответственно с H_2O и CCl_4; 4, 5 — промывалки с H_2SO_4; 7 — бани со льдом; 8 — газополводящая грубока; 9 — реактор; 10 — предохранительная промывалка; 11 — счетчик пузырьков</p>
<p><i>Вопрос.</i> Какие продукты образуются в растворе? Напишите уравнения реакций.</p>	<p>Рис. Б. Фильтрование в инертной атмосфере (1—6 см. рис. А)</p>

в) наблюдаемые изменения при проведении опыта или синтеза (изменение окраски, выделение бесцветного или окрашенного газа, кипение, возгонка, выпадение или растворение осадка с указанием его цвета);

г) результаты идентификации получаемых веществ: характерная окраска, форма кристаллов, характерные химические реакции, температуры кипения и/или плавления и др. свойства;

д) расчет практического выхода в процентах (для синтезов);

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

Пункты а) — г) журнала следует заполнять непосредственно в процессе выполнения задания в практикуме; пункты д) — е) — по завершении экспериментальной задачи.

К отчету по синтезу приложите полученный препарат, помещенный в бюкс (рис. 2, а), пробирку (рис. 2, б) или запаянный в ампулу (рис. 2, в) и наклейте этикетку со своей фамилией, инициалами, № группы, формулой и/или названием полученного вещества, его массой и датой проведения опыта. Для жидких веществ укажите температуры кипения.

ГЛАВА 2

ХИМИЧЕСКАЯ ПОСУДА, РЕАКТИВЫ, НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

2.1. Химическая посуда

При выполнении опытов и синтезов в практикуме используется стеклянная и фарфоровая (керамическая) химическая посуда разного назначения.

Стеклянная химическая посуда

Химическая посуда тонко- и толстостенная изготавливается из стекла разных марок. Посуда из толстого стекла не выдерживает нагрева, нагревать можно только тонкостенную посуду, термостойкость которой зависит от состава стекла (рис. 3).

Из тонкого стекла изготавливают как относительно простые изделия (пробирки, химические стаканы, колбы, бюксы, часовые стекла, воронки, переходники, тройники и т.д.), так и приборы сложной конфигурации (колбы и пробирки Вюрца, реторты, водяные холодильники, дефлегматоры, приборы для перегонки, аллонжи, «пауки», промывалки, осушительные колонки, U-образные трубки, хлоркальциевые трубки и т.д.).

Пробирки химические 1 используют обычно для проведения в них качественных реакций. Пробирки размещают в специальном штативе.

Стаканы химические 2 — для приготовления растворов и проведения химических реакций как при комнатной температуре, так и при нагревании.

Колбы плоскодонные 3 — для приготовления и хранения растворов.

Колбы конические (Эрленмейера) 4 —, как правило, в аналитической практике при титровании.

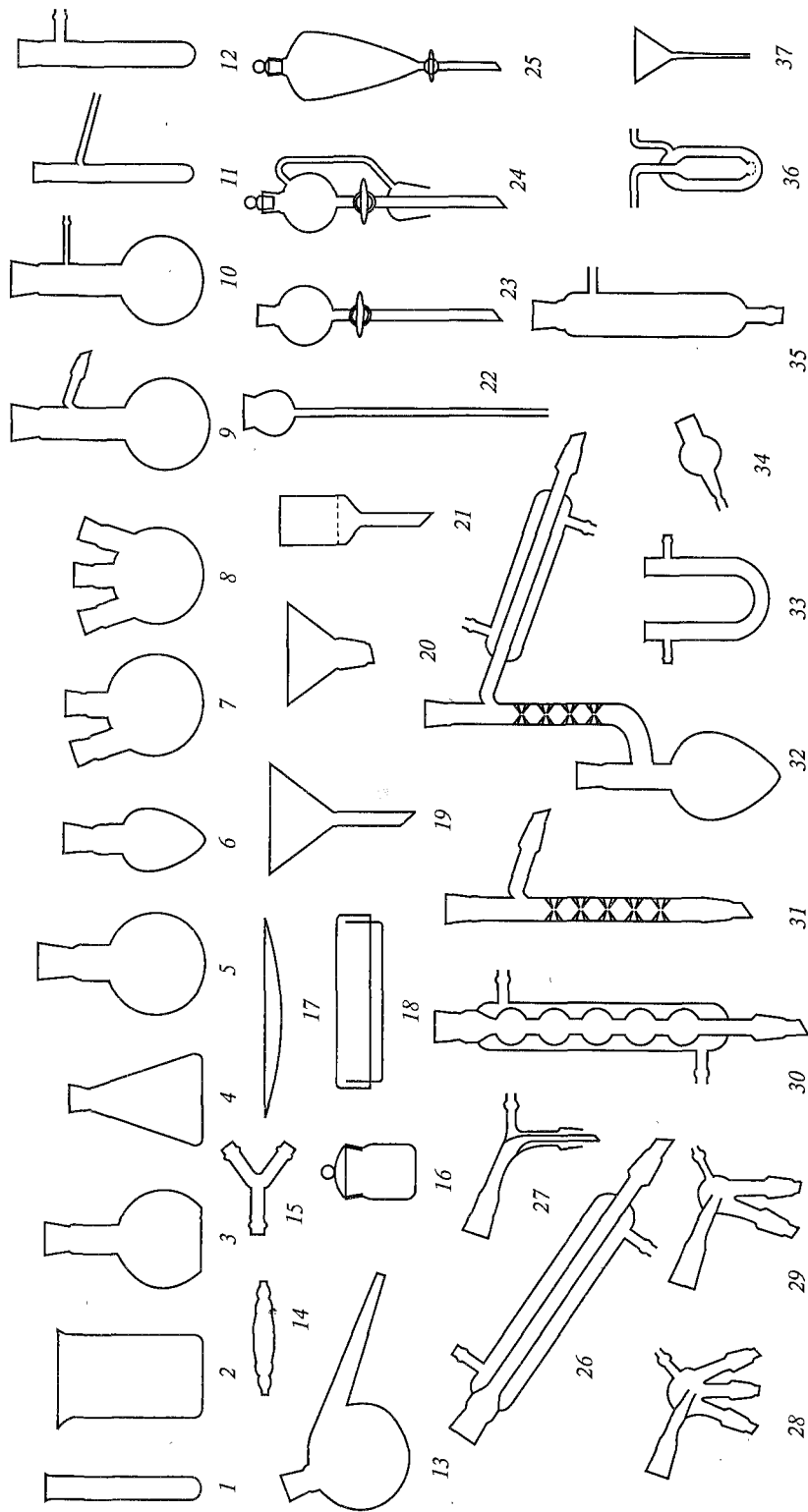


Рис. 3. Стеклоянная химическая посуда.

1 — пробирка; 2 — стакан химический; 3 — колба плоскодонная; 4 — колба коническая (Эрленмейера); 5 — колба круглодонная; 6 — колба Кляйзена; 7 — колба двугорлая; 8 — колба трехгорлая; 9, 10 — колбы Вюрца; 11, 12 — пробирки Вюрца; 13 — реторта; 14 — переходник; 15 — тройник; 16 — бюкс; 17 — часовое стекло; 18 — чашка Петри; 19 — воронка химическая; 20 — воронка для сыпучих веществ; 21 — воронка со стеклянным фильтрующим дном; 22 — воронка длинная; 23, 24 — капельные воронки; 25 — воронка делительная; 26 — холодильник Либиха; 27 — аллонж; 28, 29 — «гауки»; 30 — холодильник шариковый; 31 — дефлегматор; 32 — прибор для перегонки; 33 — U-образная трубка; 34 — промывалка Мюнке; 35 — колонка осушительная; 36 — промывалка Мюнке; 37 — воронка Мюнке

Колбы круглодонные (например 5) наиболее часто используют при проведении синтезов. Колбы могут изготавливаться с коротким и длинным горлом, одно-, двух- (6), трехгорлыми (7) и т. д.

Колба Кляйзена 8 используется в качестве перегонной колбы и приемника при перегонке жидкостей.

Колбы Вюрца 9, 10 используются в качестве перегонной (с изогнутым отводом 9) или реакционной колбы (с прямым коротким отводом 10).

Пробирки Вюрца 11, 12 используются для микроперегонки (с изогнутым отводом) и в качестве реактора в микросинтезе (с прямым коротким отводом).

Реторты 13 используются при прокаливании веществ с одновременной отгонкой продуктов разложения.

Переходники 14 и *тройники* 15 служат для соединения резиновых шлангов.

Бюксы 16 применяются для взвешивания агрессивных веществ и хранения небольших количеств реагентов.

Часовые стекла 17 универсальны. Ими накрывают химические стаканы при проведении синтезов, на них высыпают полученное при синтезе вещество для высушивания на воздухе, используют в качестве тары при взвешивании небольших количеств неагрессивных веществ.

Чашка Петри 18 может быть использована для высушивания на воздухе или в эксикаторе веществ и фильтров с осадками.

Воронки химические 19 предназначены для переливания жидкостей.

Воронки с широким горлом 20 используются для загрузки сыпучих веществ.

Воронки со стеклянным фильтрующим дном (фильтры Шотта) 21 — для фильтрования под пониженным давлением. Для краткости их еще называют «стеклянным пористым фильтром» или просто «стеклянным фильтром».

Воронки длинные 22 используются в опытах по получению водорода.

Капельные воронки 23, 24 — для дозируемой, по каплям, подачи реагентов в реакционную смесь. Для выравнивания давлений в реакционной колбе и в капельной воронке 24 пространство над краном воронки соединяется трубкой с пространством под краном. Воронка в этом случае закрывается сверху пробкой.

Воронки делительные 25 служат для разделения несмешивающихся жидкостей.

Холодильник Либиха 26 с прямой внутренней трубкой в зависимости от расположения в приборе может выполнять функции как прямого или прямоточного холодильника (пар поступает с одной стороны холодильника, а жидкость вытекает с другой), так и обратного холодильника (жидкость стекает обратно в колбу).

Шариковый водяной холодильник 30 используется только в качестве обратного холодильника.

Дефлегматоры 31 используются в качестве насадок при фракционной перегонке жидкостей.

Приборы для перегонки 32 — комбинированные, объединяющие перегонную колбу (Кляйзена), дефлегматор и холодильник.

Аллонж 27 — переход между холодильником и приемником. К аллонжу присоединяется хлоркальциевая трубка, при перегонке в вакууме — водоструйный насос.

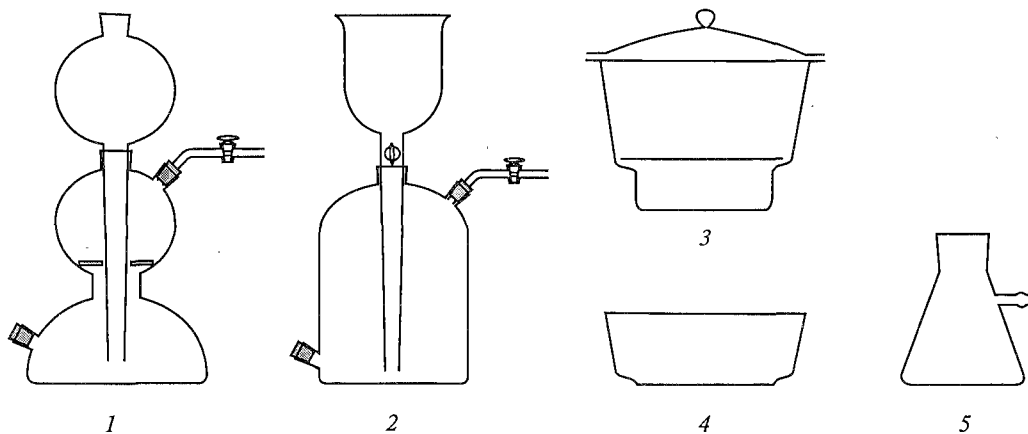


Рис. 4. Стекланные лабораторные приборы:

1 — аппарат Киппа; 2 — газометр; 3 — эксикатор; 4 — кристаллизатор; 5 — колба Бунзена

«Пауки» 28, 29 — аллонжи с несколькими выходами для одновременного присоединения нескольких приемников.

Хлоркальциевые трубки 34 служат для изоляции реакционной смеси от воздействия атмосферной влаги и углекислого газа, заполняются твердым поглотителем, как и осушительные колонки.

Осушительные колонки 35 и U-образные трубки 33 предназначены для осушки газов и очистке от примесей с помощью твердого реагента.

Промывалки Мюнке 36 — склянки для очистки газов от примесей жидким поглотителем. Для заполнения промывалок служит тонкая воронка (воронка Мюнке) 37.

Для изготовления жаростойкой и химически устойчивой посуды используют специальное стекло с повышенным содержанием диоксида кремния. Из такого стекла делают химические стаканы, колбы, реторты, пробирки и другую посуду. В этом случае на изделия ставится специальное клеймо. Круглодонная посуда выдерживает прямой нагрев, тогда как плоскодонную посуду можно нагревать только через асбестовую сетку или стеклокерамическую пластину.

Особотермостойкие изделия (стаканы, реторты, пробирки) изготавливают из «пирексового» или кварцевого стекла. Тонкое кварцевое стекло вследствие очень низкого коэффициента термического расширения выдерживает резкое охлаждение (даже водой!) с любой температуры.

Толстое стекло используют для изготовления массивных и прочных изделий (рис. 4), таких как:

аппараты Киппа 1 — для получения устойчивого тока газа в течение длительного времени;

газометры 2 — для сбора и хранения газа;

эксикаторы 3 — для высушивания веществ при комнатной температуре с использованием различных осушительных средств;

кристаллизаторы 4 — для охлаждения растворов и при сборе газов под водой;

колбы Бунзена 5 — в качестве приемных колб для фильтрата при фильтровании под пониженным давлением;
химические склянки, бутылки и т. д.

Фарфоровая (керамическая) посуда

Кроме стеклянной посуды в лаборатории используются керамические изделия ввиду их относительно 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 упаривания, тигли, лодочки и другие изделия (рис. 5).

Кружки 1 и стаканы 2 применяются для приготовления и хранения хромовой смеси, хранения соды на мойке и т. д.

Ступка с пестиком 3 — для перетирания не очень твердых веществ.

Тигли (с крышкой) 4 выдерживают нагрев открытым пламенем газовой горелки.

Треугольники 10 необходимы для установки тиглей на кольце штатива.

Лодочки 5 используются при проведении синтезов в электрических печах, могут быть нагреты до 800—900 °С.

Чашки для упаривания 6 помещают на водяную или песчаную баню. Нагревать на открытом пламени не рекомендуется.

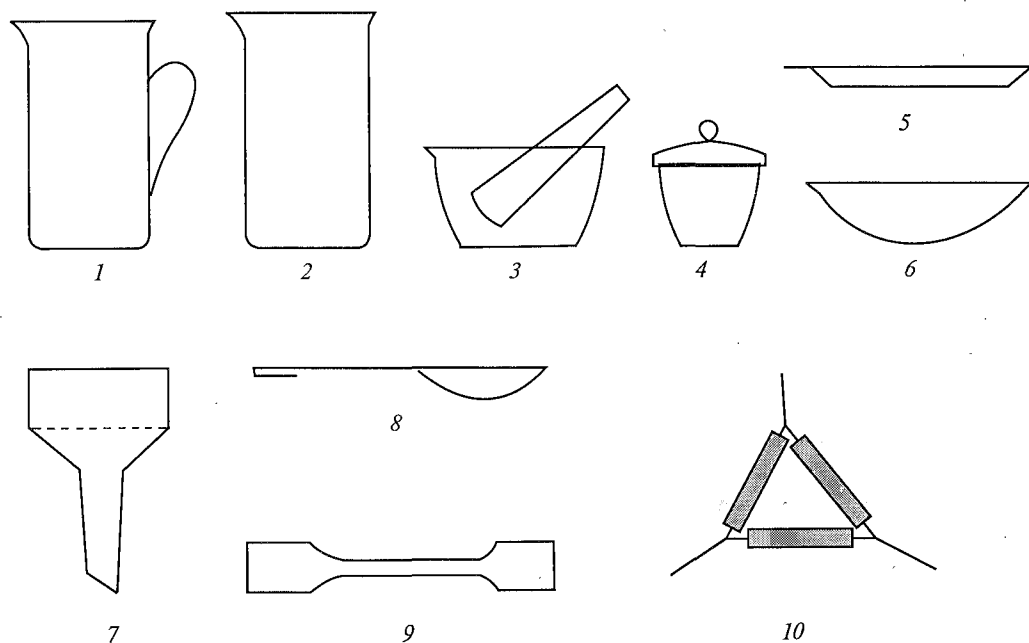


Рис. 5. Фарфоровая посуда:

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

Воронки Бюхнера 7 используются при фильтровании под пониженным давлением с бумажным фильтром.

Ложечкой 8 или шпателем 9 берут реактивы.

Мерная посуда

Для измерения объема жидкости и для приготовления растворов заданной концентрации используется мерная посуда различного назначения: мерный цилиндр, мерная пипетка, мерная колба (рис. 6). Мерная посуда откалибрована для 20°C и ее нельзя нагревать. Уровень измеряемой жидкости определяется по нижнему мениску. Для заполнения пипеток используются пипетаторы (груши).

Мерные цилиндры 1 используются для измерения относительно больших объемов жидкости (5 мл — 2 л). Точность измерения при этом не очень велика.

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

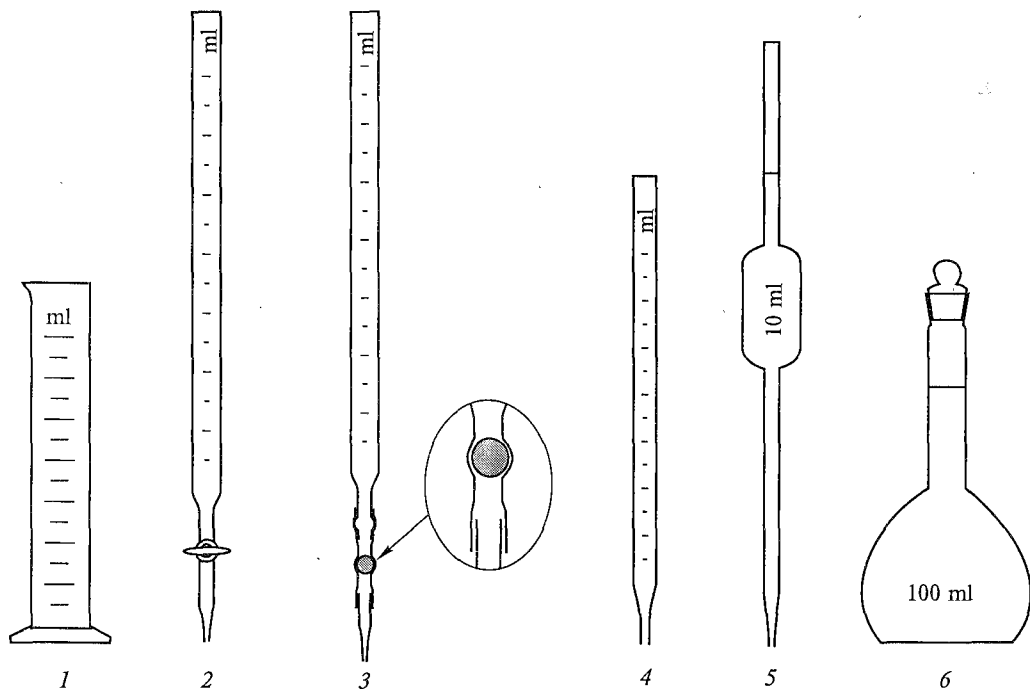


Рис. 6. Мерная посуда:

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

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

Мерные пипетки (пипетки Мора) 5 с кольцевой меткой предназначены для отбора строго заданного объема жидкости.

Мерные колбы 6 с кольцевой меткой используют для приготовления растворов строго заданной концентрации.

Правила работы с химической посудой

Работа с посудой на шлифах. В лабораторной практике получила распространение стеклянная посуда с коническими и шаровыми соединениями (рис. 7), шлифованными или мелированными. Внешний шлиф 2 называют муфтой, а внутренний 1 — керном.

При проведении лабораторных работ обычно используют посуду со стандартными коническими шлифованными соединениями (рис. 7, а) диаметром 14,5, 19 и 29 мм. Для фиксации конических шлифов используются пружинки 3 или резиновые колечки 4, которые крепятся за припаянные к трубкам «усики». При сборке приборов с такими шлифами необходимо проявлять особую осторожность, так как даже малейший перекося может привести к их повреждению.

Шаровые шлифованные соединения (рис. 7, б) позволяют изменять угол между фиксируемыми деталями без нарушения герметичности, не боятся перекося, выдерживают большие нагрузки и находят применение в приборах, работающих под вакуумом. Для скрепления шаровых соединений используются специальные зажимы 5.

При сборке большинства приборов, за исключением вакуумных, шлифы не рекомендуются смазывать, если в методике не оговаривается способ смазки. Предварительно шлифы должны быть тщательно очищены от загрязнений и старой смазки. Попадание твердых частиц в зазор шлифованного соединения нарушает его герметичность и может привести к разрушению.

Для приборов, работающих под вакуумом, используется специальная вакуумная смазка, которую деревянной палочкой (не стеклянной!) наносят двумя—тремя тонкими мазками на слегка подогретый керн. Затем керн вставляют в муфту, поворачивая его вокруг оси. Правильно смазанный шлиф должен быть прозрачным, а вакуумная смазка — не выступать из зазора.

Смазывание кранов капельных воронок. Краны капельных воронок обычно смазывают вакуумной смазкой. Возможно использование и других видов смазок. При работе с бромом для смазки крана используют концентрированную сиропообразную фосфорную кислоту, или, еще лучше, оксид фосфора(V), расплывающийся на воздухе (метафосфорная кислота). После смазывания надо обязательно проследить, чтобы отверстие крана не забилося смазкой.

Очистка от вакуумной смазки. По окончании работы прибор разбирают, разъединяют шлифы и снимают смазку ватным тампоном, смоченным тетрагидридом углерода (в вытяжном шкафу и в перчатках!). Горячие шлифованные соединения разбирают, не дожидаясь полного охлаждения, так как при

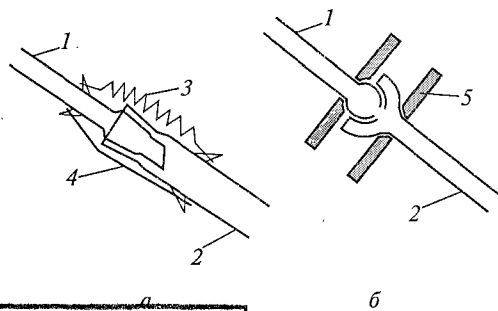


Рис. 7. Шлифованные соединения:

а — конический шлиф; б — шаровой шлиф; 1 — керн; 2 — муфта; 3 — пружина; 4 — резиновое кольцо; 5 — зажим

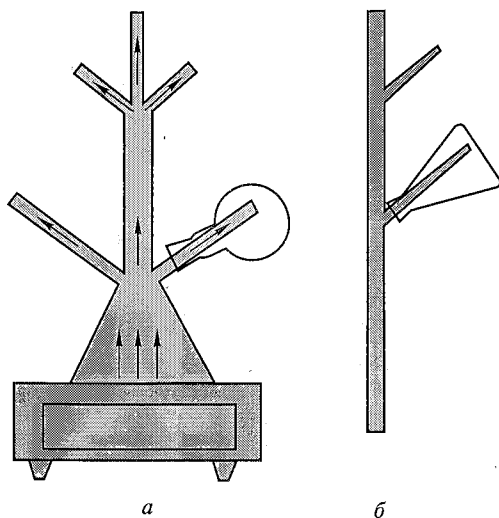


Рис. 8. Сушилки для химической посуды:
a — электросушилка для высушивания струей горячего воздуха; *б* — сушилка для высушивания на воздухе

Для отмывания от загрязнений соединениями марганца используют кристаллическую щавелевую кислоту. Не рекомендуется применять абразивные материалы, так как они царапают и разрушают стекло.

Для очистки посуды от продуктов термического разложения органических веществ, удаления следов жиров и улучшения смачиваемости стекла можно использовать хромовую смесь, которую готовят в большой фарфоровой ступке: 10 г дихромата калия растирают в тонкий порошок, смачивают 3—5 мл воды и при перемешивании добавляют 100 мл 96%-ной серной кислоты; отстоявшийся раствор переносят в толстостенную склянку с притертой пробкой или в фарфоровую кружку. После промывания посуды хромовую смесь сливают обратно в склянку (но не в раковину!). Хорошим средством для мытья посуды служит также спиртовой раствор щелочи.

После промывания с использованием химических реагентов посуду тщательно моют водопроводной водой и споласкивают два—три раза небольшими порциями дистиллированной воды. С хорошо вымытой посуды вода должна стекать ровным слоем без образования капель.

Чистую посуду сушат в сушильном шкафу струей горячего воздуха от электросушилки (рис. 8, *a*) или на воздухе в перевернутом виде на деревянной или пластмассовой сушилке (рис. 8, *б*). Мерную посуду сушат только на воздухе без нагревания.

2.2. Химические реактивы и правила работы с ними

Химические реактивы

В лаборатории используются твердые и жидкие реактивы. Химические реактивы выпускаются и хранятся в стеклянных или пластмассовых банках с плот-

охлаждении смазка сильно загустевает и схватывается. Поскольку смазка со временем полимеризуется и загустевает, то не рекомендуется хранить в смазанном состоянии шлифованные соединения и краны, иначе их невозможно будет разобрать или повернуть. При хранении в собранном виде без смазки для предупреждения заклинивания между шлифами помещают полочки тонкой бумаги.

Мытье посуды. Химическую посуду после завершения опыта тщательно моют, сушат и убирают на место. Сначала посуду промывают водопроводной водой, если загрязнения не смываются, то загрязненные места посыпают кальцинированной содой и трут ершиком. Сода используется для удаления следов жиров, масел и для улучшения смачиваемости стекла.

но закрывающимися крышками. Каждая банка снабжается этикеткой с названием вещества, его химической формулой и информацией о дате выпуска, сроке хранения и о классе чистоты реактива. На этикетке указывается также содержание основного вещества и основных 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 «ос.ч.» — особо чистый, причем стоимость их возрастает с чистотой. Реактивы «ч.» и «ч.д.а.» используются при проведении большинства опытов и синтезов. 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. 9, а) и размещают на полках возле лабораторных столов. Разбавленные растворы солей с концентрацией 3—5% разливают по склянкам емкостью 100—150 мл с пипетками для отбора жидкости (рис. 9, б) и размещают на полках рабочих столов. Концентрации этих растворов при описании задач практикума обычно не указываются. Так, если в задании сказано «налейте в пробирку 2—3 мл раствора...» (без указания концентрации), это означает, 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 1 л. Горючие и легко воспламеняющиеся жидкости, окислители и другие особо опасные вещества хранят в металлических шкафах.

Правила работы с химическими реагентами

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

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

3. Для измельчения и смешения химических реактивов используют ступки. Совместное перетирание веществ позволяет получать достаточно тонкие смеси реагентов. (*Запрещается совместно перетирать окислители и восстановители во избежание взрыва.*) В фарфоровых ступках измельчают сравнительно мягкие

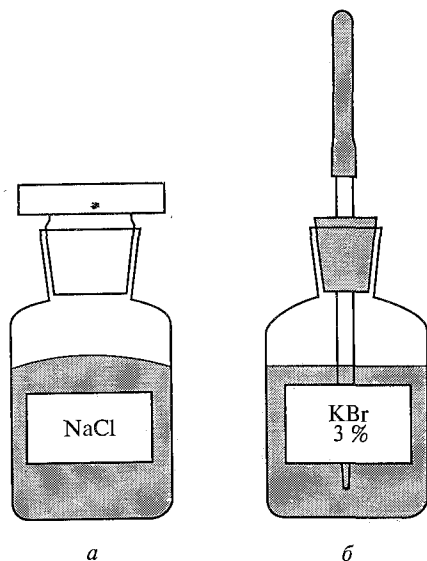


Рис. 9. Склянки с реактивами:
а — с твердыми реагентами; б — с разбавленными растворами

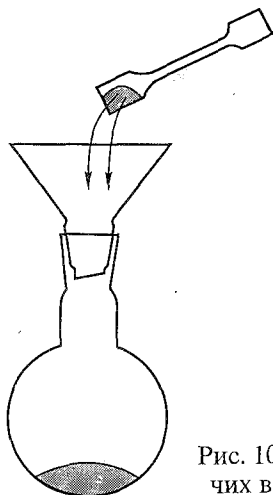


Рис. 10. Загрузка сыпучих веществ в колбу

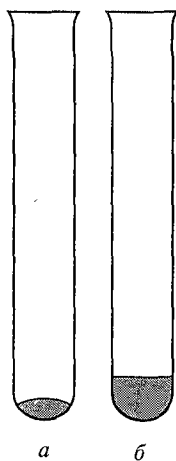


Рис. 11. Рекомендуемые количества реагентов для проведения качественных опытов:
a — твердое вещество; *б* — раствор

вещества. Для перетирания очень твердых веществ используют агатовые ступки. Крупные куски твердых и прочных веществ измельчают в чугунных ступках.

4. Для загрузки твердых веществ в реакционные колбы применяют специальные воронки с широким горлом (рис. 10).

5. Жидкости переливают через химические воронки. Слянку, из которой наливают жидкость, держат этикеткой к руке во избежание ее загрязнения и порчи.

6. Крышки и пробки от банок с реактивами кладут на стол в перевернутом виде.

7. Неизрасходованные реактивы ни в коем случае не высыпают (не выливают) обратно в банки, их надо сдавать лаборантам.

8. Все синтезированные препараты сдают преподавателю.

9. При проведении качественных опытов сухое вещество берут в количестве, закрывающем дно пробирки (рис. 11, *a*), а раствор — около 1—2 мл (рис. 11, *б*).

2.3. Нагревательные приборы

Газовые горелки

При проведении многих опытов и синтезов используются газовые горелки Теклю (рис. 12, *a*), Бунзена (рис. 12, *б*) и паяльные горелки (рис. 12, *в*). Для получения широкого и тонкого пламени, необходимого для обогрева стеклянных или кварцевых трубок, используется щелевидная насадка на горелку «ласточкин хвост» (рис. 12, *г*).

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

Правильно отрегулированная горелка дает прозрачное, слегка голубоватое, несветящееся пламя. При недостатке воздуха пламя становится желтым и коптящим. На рис. 12, *д* схематически приведено распределение температур внутри несветящегося пламени. Различают две основные зоны горения: низкотем-

пературную восстановительную зону 9, начинающуюся от устья горелки, и высокотемпературную окислительную 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 (рис. 12, а) наиболее удобна, ее конструкция позволяет тонко регулировать приток воздуха и газа. Газ поступает через боковой отвод 1 в конусообразную трубку 4, где смешивается с воздухом. Подача газа 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, вначале убедитесь, что регулировочный вентиль подачи газа 2 закрыт и лишь затем откройте кран на стойке. Зажгите спичку, поднесите ее сбоку к устью горелки и, открывая вентиль подачи газа 2 (не наклоняясь над горелкой!), зажгите газ, затем отрегулируйте подачу газа и воздуха. Для выключения горелки вначале закройте вентиль 2, а затем газовый кран на стойке.

Горелка Бунзена (рис. 12, б). В нее воздух поступает через боковое отверстие 1 в нижней части рожка б. Это отверстие может быть в большей или меньшей степени открыто с помощью вращающейся муфты 5 с отверстием.

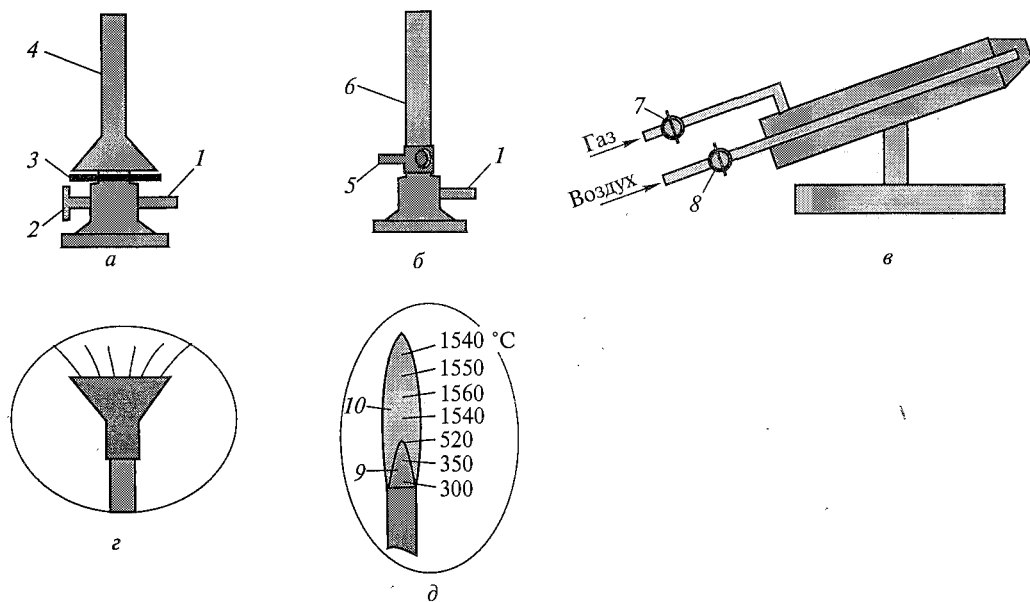


Рис. 12. Газовые горелки:

а — горелка Теклю; б — горелка Бунзена; в — паяльная горелка; г — горелка с насадкой «ласточкин хвост»; д — строение; 1 — боковой отвод; 2 — вентиль; 3 — диск; 4 — конусообразная трубка; 5 — вращающаяся муфта; 6 — рожок; 7 — кран подачи газа; 8 — кран подачи воздуха; 9 — зона восстановления; 10 — зона окисления

Для того чтобы зажечь горелку Бунзена, перекройте подачу воздуха в горелку поворотом муфты 5, поднесите к краю отверстия горелки зажженную спичку (*не наклоняясь 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 или выключения горелок и при снижении подачи газа возможен проскок пламени в горелку. В этом случае горение газа происходит внутри трубки горелки и горелка сильно разогревается. Изменяются вид пламени и характерный шум работающей горелки. При проскоке пламени необходимо немедленно закрыть газовый кран и сообщить сотрудникам практикума или преподавателю.

(Студентам не разрешается самостоятельно устранять неисправности газовых приборов.)

Паяльная горелка с воздушным поддувом (рис. 12, в) 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. 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 воздух краном 8, а затем газ краном 7 (*не наоборот!*) и закройте краны на стойке.

Бани и колбонагреватели

Для нагревания до 300 °С реакционных сосудов и для упаривания растворов используются бани. Колбонагреватели применяются чаще всего для нагрева горючих и легковоспламеняющихся жидкостей в колбах.

Водяная баня (рис. 13, а) представляет металлический сосуд 2, закрытый рядом колец разного диаметра. Такие бани удобны для упаривания растворов. Чашка 1 с упариваемым раствором не касается поверхности воды и обогревается водяным паром. Колбу, наоборот, частично погружают в воду.

В сосуд 2 наливают воду, не более $\frac{2}{3}$ его объема, и помещают на треножник 3, стоящий на подставке 5 из термостойкого материала. Чашку 1 для упаривания ставят сверху, сняв такое количество колец, чтобы чашка была утоплена примерно на $\frac{2}{3}$ (рис. 13). Воду в бане доводят до кипения на пламени горелки 4 и поддерживают в состоянии слабого кипения в течение всего опыта, добавляя новые порции по мере выкипания. Уровень воды в бане не должен изменяться. Используются бани с газовым или электрическим обогревом. Для ускорения испарения рекомендуется обдувать поверхность упариваемого раствора струей воздуха из стеклянной трубки (см. рис. 13, а).

Для подогрева реакционных сосудов и пробирок в качестве водяной бани иногда берут обычный химический стакан. В этом случае нагреваемый объект частично погружают в воду.

Песчаную баню (рис. 13, б) применяют для нагрева веществ до 200—300 °С и упаривания растворов. Она представляет металлический сосуд (противень) 2, заполненный чистым прокаленным песком. Песок нагревают пламенем газо-

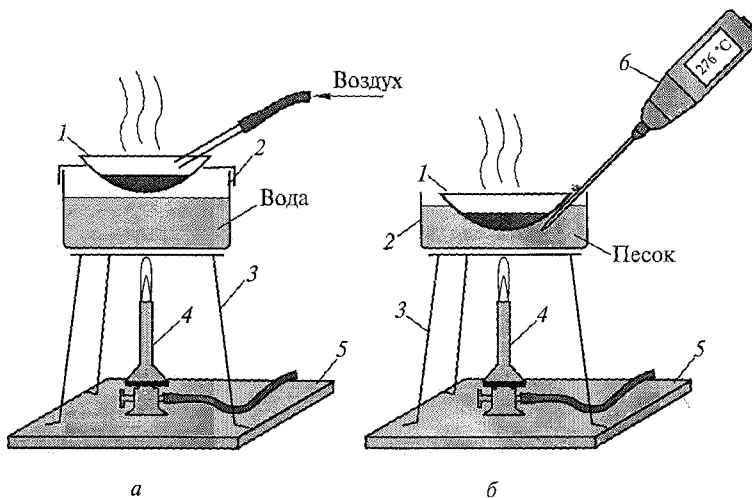


Рис. 13. Упаривание раствора на водяной (паровой) (а) и песчаной (б) банях:
 1 — чашка для упаривания; 2 — баня водяная (песчаная); 3 — треножник; 4 — горелка; 5 —
 подставка из термостойкого материала; 6 — термометр цифровой

вой горелки 4 или электрическим нагревателем. Температуру измеряют цифровым термометром 6 с длинным щупом.

Электрические печи

Для нагревания или прокаливания при высокой температуре используют электрические печи с терморегуляторами: трубчатые (рис. 14, а), тигельные (шахтные) (рис. 14, б) и муфельные (рис. 14, в).

Трубчатые печи применяют для проведения реакций в токе газов. Вещества в фарфоровой, кварцевой или металлической лодочке вносят в кварцевую или фарфоровую трубку, помещенную в трубчатую электрическую печь. Для про-

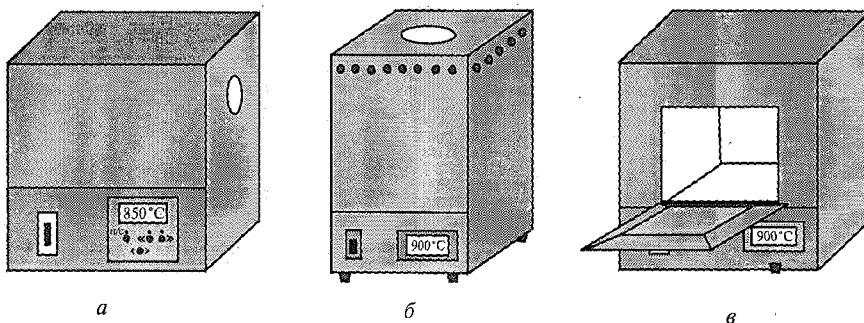


Рис. 14. Печи электрические с терморегуляторами:
 а — трубчатая печь; б — тигельная (шахтная) печь; в — муфельная печь

каливания небольшого количества вещества в тиглях наиболее удобны тигельные (шахтные) печи. Большие количества веществ прокаливают в муфельной печи.

ГЛАВА 3

ПРОВЕДЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

3.1. Взвешивание

Химический эксперимент начинается с подготовки исходных реагентов (взвешивания, смешения веществ, приготовления растворов), подготовки посуды и сборки прибора (если необходимо) и завершается выделением и идентификацией полученных веществ.

В студенческом практикуме применяют весы с точностью взвешивания 0,1 — 0,01 г, достаточной при проведении большинства опытов и синтезов, и пределом взвешивания 200 — 300 г. Для более точных взвешиваний, например, при проведении химического анализа, необходимо использовать аналитические весы с точностью взвешивания $\pm 0,2$ мг.

Правила взвешивания

Взвешивание неагрессивных веществ. Взвешивание на весах (рис. 15) всегда проводят с использованием тары. Химические вещества никогда не помещают прямо на чашку весов. В качестве тары используют стаканчики для взвешивания или бюксы (см. рис. 15, а, б). Допускается взвешивание на часовом стекле. Фарфоровые чашки использовать не рекомендуется — они слишком тяжелы.

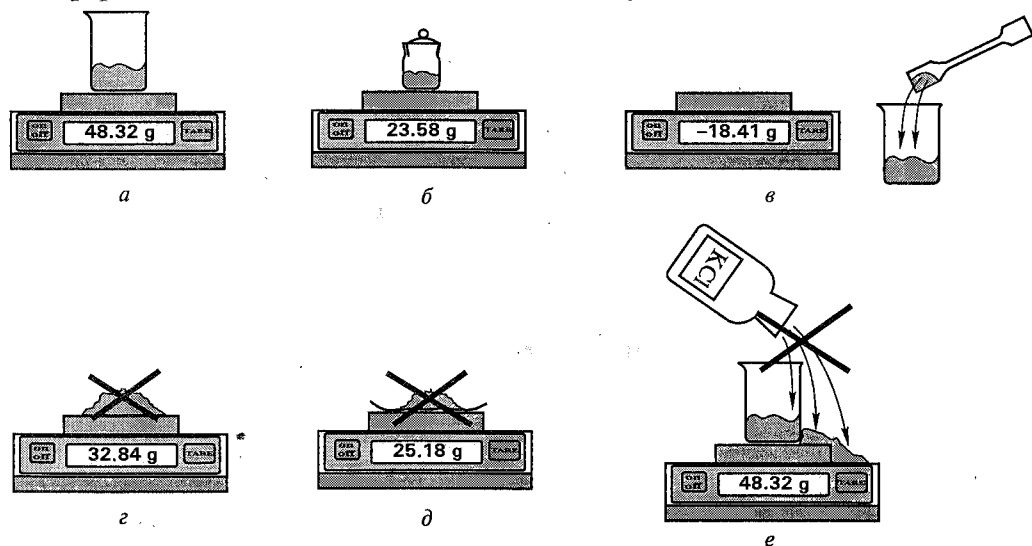


Рис. 15. Взвешивание химических веществ:
а—в — правильно; г—е — неправильно

Для взятия небольших навесок неагрессивных веществ можно использовать кальку. Другая бумага, особенно фильтровальная, в качестве тары при взвешивании не пригодна, так как часть вещества неизбежно к ней прилипнет. Кроме того, масса бумаги зависит от влажности окружающего воздуха. Не допускается взвешивание нагретых или горячих предметов.

Взвешивание агрессивных веществ. Агрессивные вещества взвешивают только в закрытых бюксах (см. рис. 15, б). Ампулы, пробирки и приемники с полученным веществом взвешивают в стеклянном стакане (рис. 16).

Взятие навесок сыпучих веществ. Взвешивание проводят следующим образом. Стаканчик для взвешивания поместите на чашку весов и запишите его массу или обнулите показания весов (нажмите клавишу «тара»). Снимите стаканчик с чашки весов, поставьте на лист чистой бумаги, насыпьте в него взвешиваемое вещество (см. рис. 15, в) и верните обратно на весы. Если масса вещества не соответствует заданной, то стаканчик с веществом вновь снимите с чашки весов и добавьте (или отберите) необходимое количество вещества. Для взятия точной навески допускается добавлять на весах небольшое количество вещества маленьким шпателем.

(При взвешивании не насыпайте вещество в тару над весами (см. рис. 15, е), так как вещество может попасть на весы и загрязнить их. В этом случае необходимо тотчас же выключить весы и протереть их и лишь затем повторить взвешивание.)

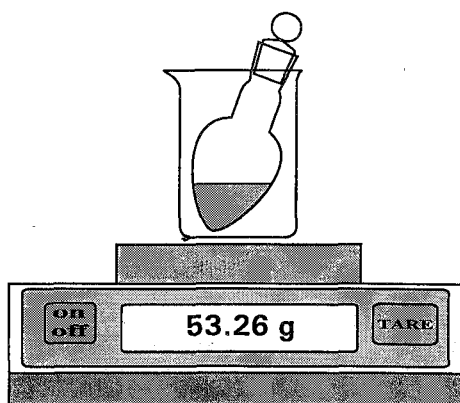


Рис. 16. Взвешивание круглодонных колбочек

3.2. Измерение объема жидкости

При проведении химического эксперимента количество жидкости обычно определяют по ее объему при известной плотности, а не взвешивают. Для измерения объема жидкости используют мерные цилиндры и мерные пипетки (см. рис. 6). Так, например, если по уравнению реакции необходимо взять 0,62 г брома ($\rho = 3,102 \text{ г/см}^3$), то нужно взять мерную пипетку с делениями подходящей емкости и отмерить 0,2 мл брома.

3.3. Приготовление растворов

Приготовление неточных растворов

Для растворов, используемых при проведении синтезов и опытов, обычно не требуется очень высокая точность их приготовления. Для приготовления раствора навеску вещества растворите в рассчитанном количестве жидкости в химическом стакане или плоскодонной колбе при перемешивании стеклянной палочкой с оплавленными концами. Для ускорения растворения стакан с рас-

твором можно подогреть на треножнике через асбестовую сетку или стеклокерамическую пластину. Взвешивание сухих веществ проводите с точностью 0,1—0,01 г. Растворитель не взвешивают, его массу рассчитывают по его объему и плотности. Для измерения объема растворителя, в зависимости от его количества, используйте мерный цилиндр или мерную пипетку.

Приготовление растворов точной концентрации

Для приготовления растворов точной молярной концентрации используют мерные колбы с кольцевой меткой (рис. 17). Мерную колбу 1 заполняют примерно наполовину дистиллированной водой и через воронку 2 высыпаяют точную ($\pm 0,0002$ г) навеску вещества из стаканчика для взвешивания 3. Остатки вещества из стаканчика 3 и с воронки 2 тщательно смывают в колбу, пользуясь промывалкой 4.

Содержимое колбы тщательно перемешайте круговыми движениями до полного смешения жидкостей или растворения твердого вещества. По достижении раствором комнатной температуры долейте воду до метки. Колбу закройте пробкой и, многократно переворачивая ее вверх дном, тщательно перемешайте раствор.

Для быстрого приготовления растворов точной концентрации удобно применять *фиксаналы* — заранее приготовленные и запаянные в стеклянных ампулах точно отмеренные количества реактива, необходимого для приготовления 1 л 0,1 н. или 0,05 н. раствора. Для вскрытия ампул с фиксаналами прилагаются специальные бойки. Информацию об объеме и концентрации получаемого раствора из одной ампулы фиксанала приводится на этикетке. Для получения раствора содержимое ампулы количественно перенесите в мерную колбу, заполненную наполовину водой.

Для этого в мерную колбу 1 емкостью 1 л вставьте химическую воронку 2 диаметром 9—10 см с вложенным в нее бойком 5 с утолщением. Сухую тщательно вымытую ампулу 6 со снятой этикеткой поверните дном вниз и слегка

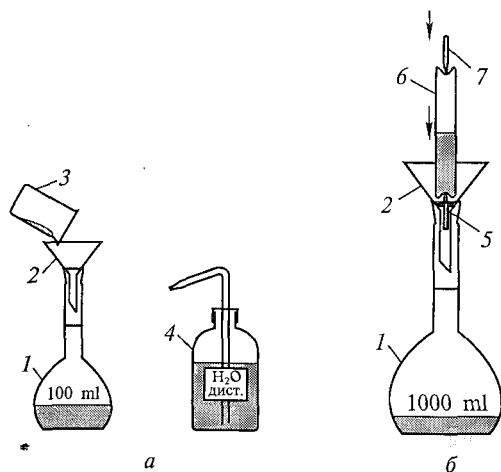


Рис. 17. Приготовление растворов точной концентрации:

a — по точной навеске вещества; *б* — из фиксанала; 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

ударьте углублением об острие бойка 5 (рис. 17, б), вторым бойком 7 пробейте верхнее или боковое отверстие и дайте содержимому — жидкости — полностью вылиться, твердое вещество при осторожном встряхивании высыпьте в воронку. Затем, не изменяя положения ампулы, тщательно промойте ее изнутри дистиллированной водой из промывалки. Для промывания рекомендуется не менее чем шестикратное (по объему ампулы) количество воды. После растворения всего вещества и достижения комнатной температуры доведите объем раствора до кольцевой метки.

Ампулы с сухими фиксалями можно вскрыть над сухой воронкой и с помощью одного бойка (второй боек в воронку не ставится): вначале вскройте дно ампулы, затем ампулу переверните и пробейте верхнее отверстие, вещество из ампулы осторожным встряхиванием высыпьте в колбу, а ампулу промойте изнутри дистиллированной водой.

Разбавление растворов

Для разбавления раствора в кратное число раз налейте на дно мерной колбы с кольцевой меткой небольшое количество воды и внесите в нее разбавляемый раствор известного объема, затем доведите общий объем раствора до метки и тщательно перемешайте. Для точного измерения объема вносимой жидкости лучше всего использовать пипетку Мора с кольцевой меткой или, в крайнем случае, пипетку с делениями.

3.4. Получение, хранение и очистка газов

Правила работы с газами

В практикуме используются следующие газы:

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

б) газы, получаемые в лаборатории химическим путем: хлор, аммиак, водород, диоксид серы, оксиды азота и др. Хотя хлор, аммиак и водород производятся промышленностью, использование баллонов с этими газами в студенческом практикуме не рекомендуется ввиду их повышенной опасности.

Рекомендуемые способы получения газов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Рекомендуемые способы получения газов

Газ	Источник газа	Примеси
Водород	H_2SO_4 (20%) + Zn	H_2O , SO_2 , H_2S , (AsH_3) , аэрозоли
	HCl (20%) + Zn	H_2O , HCl, (AsH_3) , аэрозоли
Кислород	Баллон	H_2O , N_2
Азот	То же	H_2O , O_2
Аргон	«	H_2O , O_2
Хлор	HCl (конц.) + $KMnO_4$	H_2O , HCl, аэрозоли
	HCl (конц.) + MnO_2 (t°)	H_2O , HCl, аэрозоли

Газ	Источник газа	Примеси
Хлороводород	H_2SO_4 (конц.) + NaCl (кр.)	H_2O , аэрозоли
Бромоводород	$Br_2 + P$ (кр.) + H_2O	H_2O , Br_2 , аэрозоли
Иодоводород	$I_2 + P$ (кр.) + H_2O	H_2O , I_2 , аэрозоли
Сероводород	HCl (20 %) + FeS	H_2O , HCl, аэрозоли
Аммиак	NH_3 (конц. р-р) + NaOH (кр.)	H_2O , аэрозоли
	Смесь $Ca(OH)_2$ (кр.) + NH_4Cl (кр.) (t°)	H_2O , аэрозоли
Оксид азота(II)	HNO_3 (20—30 %) + Cu	H_2O , NO_2 , аэрозоли
Оксид азота(IV)	HNO_3 (конц.) + Cu	H_2O , NO, аэрозоли
	$Pb(NO_3)_2 + SiO_2$ (t°)	H_2O , O_2
Оксид серы(IV)	H_2SO_4 (конц.) + Na_2SO_3 (кр.)	H_2O , аэрозоли
	H_2SO_4 (конц.) + Cu (t°)	H_2O , аэрозоли
Оксид углерода(II)	H_2SO_4 (конц.) + HCOOH	H_2O , аэрозоли
	H_2SO_4 (конц.) + $H_2C_2O_4$	H_2O , CO_2 , аэрозоли
Оксид углерода(IV)	Баллон	H_2O
	$CaCO_3 + HCl$ (1 : 1)	H_2O , HCl, аэрозоли

Газовые баллоны и работа с ними

Газ в баллонах (рис. 18) находится под высоким — 15 МПа (150 атм) давлением в сжатом или сжиженном состоянии, поэтому баллоны являются источником повышенной опасности и их нельзя подвергать тепловому воздействию или удару. Баллоны должны быть надежно закреплены и находиться на достаточном удалении от источников тепла.

(Студентам не разрешается самостоятельно открывать и перемещать газовые баллоны.)

Для снижения давления газа на выходе из баллона устанавливают газовый редуктор 3. Не рекомендуется напрямую подсоединять баллон к прибору, лучше вначале заполнить из баллона промежуточную емкость (газометр или «кислородную» подушку), которую потом можно подсоединить к прибору.

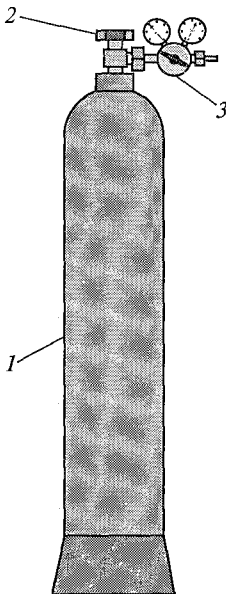


Рис. 18. Газовый баллон:

1 — баллон; 2 — вентиль; 3 — редуктор

Газометры

Для сбора и хранения газов в практикуме используют стеклянные газометры (рис. 19). Умеренно растворимые в воде газы, в том числе и кислород, собирают и хранят в них над водой. Газометр состоит из двух частей: воронки 1, снабженной краном 2, и толстостенной склянки 3 (газовый резервуар) с трубкой для выхода газа 4 с краном 5 и сливным патрубком 6 внизу для воды. Это достаточно безопасные приборы, максимальное давление газа в них определяется разностью уровней жидкости в воронке и газовом резервуаре.

Заполнение газометра газом проводится в два этапа: вначале его полностью заполняют водой, затем воду вытесняют собираемым газом.

Заполнение газометра водой проводят в следующем порядке: снимите воронку 1 и заполните склянку 3 доверху водой; откройте кран 2 на воронке 1 и медленно погрузите ее в склянку 3, следя за полнотой ее заполнения; наполните воронку 1 водой примерно на $\frac{2}{3}$; если в газометре остались пузырьки воздуха, то удалите их через открытый кран 2, слегка приподнимая и опуская воронку 1; остатки воздуха из газоотводной трубки 4 удалите через кран 5, затем кран закройте.

Заполнение газометра газом из баллона проводят в следующем порядке: поставьте заполненный водой газометр на край стола около водопроводной раковины; закройте все краны газометра (краны 2 и 5) и откройте сливной патрубок 6; приоткройте редуктор баллона и, опустив шланг в стакан с водой, отрегулируйте ток газа (а заодно и продуйте шланг); затем введите шланг от баллона в сливной патрубок 6 газометра; при поступлении газа вытекающая вода должна выливаться в раковину; наполнив газометр газом примерно на $\frac{2}{3}$, выньте газоподводящую трубку, закройте патрубок 6 пробкой и откройте кран 2. Необходимо держать кран 2 все время открытым (особенно при работе с горючими газами!).

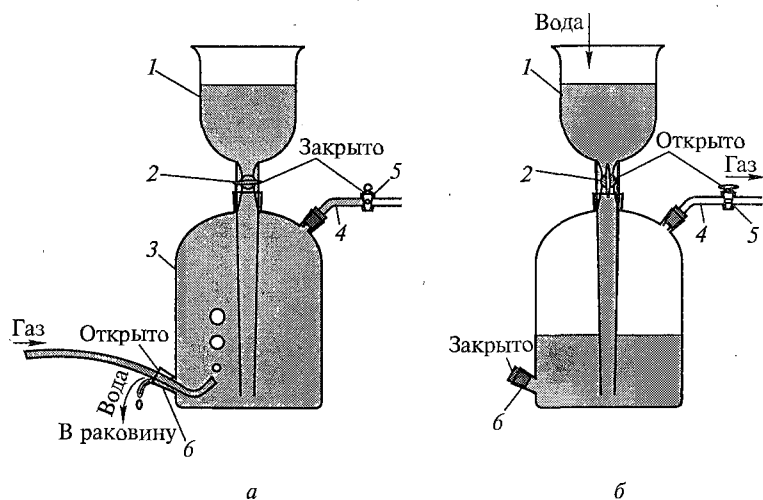


Рис. 19. Газометр:

а — заполнение газом; б — получение тока газа из газометра: 1 — воронка; 2, 5 — краны; 3 — корпус газометра; 4 — газоотводная трубка; 6 — сливной патрубок

(Не допускается дозаправка газометра. Перед каждой новой заправкой убедитесь в полном заполнении газометра водой во избежание случайного смешения остатков старого газа с новым, например, водорода с кислородом. В практикуме не рекомендуется заполнять газометры горючими газами.)

Получение тока газа из газометра: подсоедините газометр к прибору. С помощью крана 5 при открытом кране 2 установите требуемый ток газа, при этом следите за тем, чтобы воронка 1 была заполнена водой.

Получение газов из аппарата Киппа

С использованием аппарата Киппа в практикуме получают водород, углекислый газ и сероводород. Аппарат Киппа (рис. 20) состоит из трех сообщающихся резервуаров 1, 2 и 4. Твердый реагент помещают в средний шарообразный резервуар 2 на пластмассовый кольцевой вкладыш 3, предохраняющий от попадания твердого реагента в резервуар 4.

В качестве твердого реагента для получения водорода используют цинковые палочки, углекислого газа — куски и обрезки мрамора, сероводорода — куски сульфида железа.

Для загрузки аппарата Киппа необходимо приподнять или даже снять верхний шаровой резервуар 1 и поместить крупные куски реагента на кольцо 3 вокруг центрального отверстия. Можно вынуть трубку с краном 5 и через образовавшееся отверстие загрузить средний шар примерно на $\frac{1}{3}$ кусочками среднего размера. Мелкодисперсный реагент использовать не следует, так как он может провалиться через щели у кольца 3 в нижний резервуар 4.

При включении аппарата Киппа (кран 5 открыт) жидкость из верхнего резервуара перетекает в нижний и поднимается до уровня твердого реагента (рис. 20, б). В результате реакции начинает выделяться газ. Аппарат Киппа способен автоматически длительно поддерживать заданный ток газа и прекращать

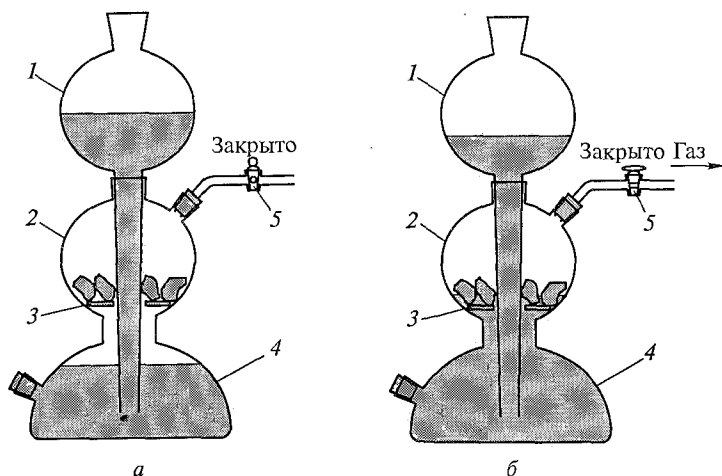


Рис. 20. Аппарат Киппа:

а — заряжен и готов к работе; б — в работе; 1 — верхний резервуар; 2 — средний резервуар; 3 — кольцевой вкладыш для размещения твердого реагента; 4 — нижний резервуар; 5 — кран

выработку газа при перекрывании выхода. В последнем случае за счет генерации газа уровень жидкости опускается ниже твердого реагента (рис. 20, а) и реакция прекращается. Жидкость при этом перетекает из нижнего резервуара в верхний.

Это один из самых удобных и безопасных методов получения газов в лаборатории. Аппараты Киппа выпускаются самых разных размеров.

Получение газов с использованием колбы Вюрца

Получение газов в колбе Вюрца с длинной воронкой. Водород, сероводород, хлор по реакции соляной кислоты с оксидом марганца(IV) и другие газы могут быть получены с использованием более простой аппаратуры по сравнению с аппаратом Киппа — колбы Вюрца с длинной воронкой (рис. 21, а). В этом случае скорость генерации газа регулируется количеством и концентрацией жидкого реагента, добавляемого небольшими порциями в колбу 1 через воронку 2 по мере его расходования, что не очень удобно. Этот недостаток компенсируется простотой и безопасностью прибора, так как в случае засорения выхода газа избыток жидкого реагента поднимается из колбы Вюрца 1 в воронку 2, открывая тем самым свободный выход газа наружу.

Получение газов в колбе Вюрца с капельной воронкой. Такой прибор (рис. 21, б, в) используется для получения многих газов: хлора (действием соляной кислоты на перманганат калия), оксидов азота, оксида углерода(II), аммиака и других. Соединительная трубка 5 (рис. 21, б, в) служит для выравнивания давления в колбе и капельной воронке. Капельная воронка позволяет регулировать скорость подачи жидкого реагента в колбу Вюрца, поддерживая тем самым непрерывный ровный ток газа. Конструкции аналогичных мини-приборов с использованием пробирок Вюрца представлены на рис. 22.

Однако они небезопасны в эксплуатации, так как не предусмотрен дополнительный выход газа из колбы при закупоривания основного выхода. В этом

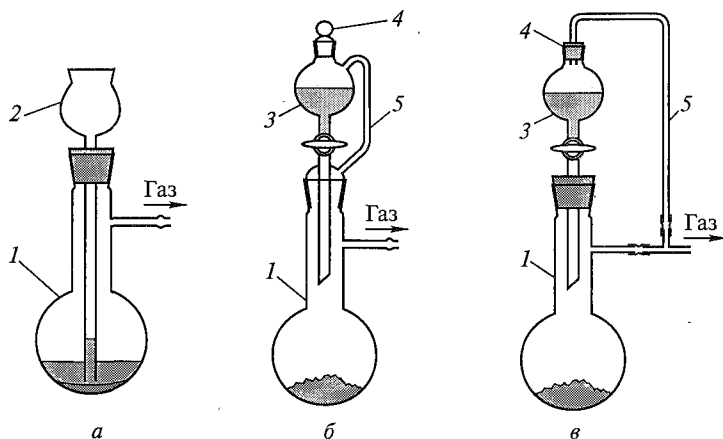


Рис. 21. Приборы для получения газов в колбе Вюрца с длинной воронкой (а); с капельной воронкой «на шлифах» (б) и «на пробках» (в):

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

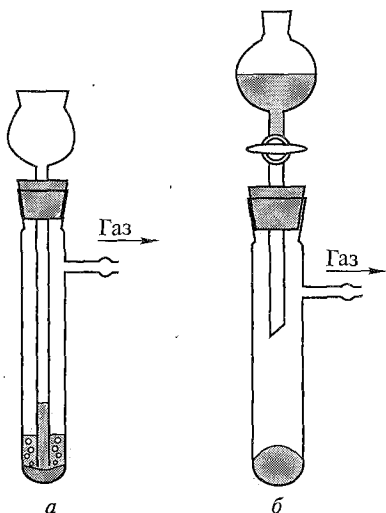


Рис. 22. Мини-приборы для получения газов с длинной (а) и с капельной (б) воронкой

случае возможно выбивание пробки из капельной воронки или самой капельной воронки.

(Работа с приборами такой конструкции допускается только в защитной маске или очках. Необходимо все время следить за наличием свободного выхода газа из колбы и прибора.)

Меры предосторожности при работе с газами:

1. В случаях опасности забивания выхода газа продуктами реакции в качестве меры предосторожности при работе с приборами, изображенными на рис. 21, б, в, можно использовать гидравлический затвор (рис. 23, а). Для этого на выходе из колбы Вюрца устанавливают тройник 1 с длинной стеклянной трубкой, погруженной в узкий мерный цилиндр или пробирку 2 с жидкостью. Высота столба жидкости в них должна превышать гидравлическое сопротивление прибора с заполненными промывалками.

2. При пропускании газа через жидкость может существовать опасность забивания газоподводящей трубки 3 твердыми продуктами реакции. В этом случае к выходу газоподводящей трубки 3 присоединяют перевернутую химическую воронку 5 (рис. 23, б), погруженную в стакан 4.

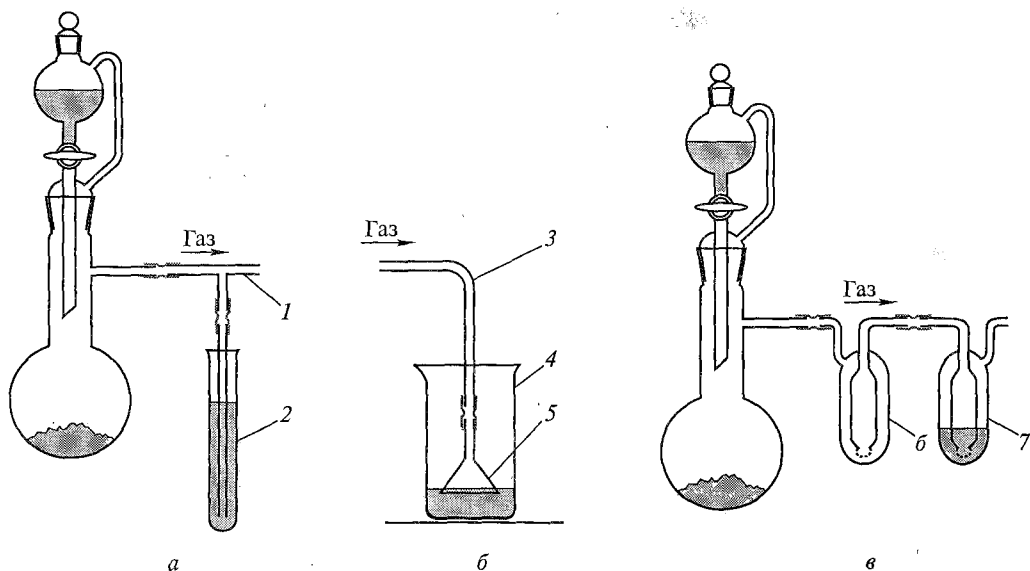


Рис. 23. Меры предосторожности при работе с газами:

а — установка гидравлического затвора; б — пропускание газа через жидкость с использованием воронки; в — установка предохранительной промывалки; 1 — тройник; 2 — пробирка с жидкостью; 3 — газоподводящая трубка; 4 — стакан; 5 — воронка; 6 — предохранительная промывалка; 7 — промывалка

3. При пропускании газа через жидкость, поглощающей газ, существует опасность затягивания этой жидкости в колбу Вюрца. В этом случае после колбы Вюрца ставят обратным ходом предохранительную промывалку *б* (рис. 23, *в*) или прикрепляют к газоподводящей трубке *з* перевернутую химическую воронку *5* (см. рис. 23, *б*). Особенно внимательными необходимо быть при охлаждении нагретой колбы Вюрца, так как возможно затягивание содержимого промывалки *7* в колбу вследствие уменьшения давления находящегося в ней газа. В этом случае также ставят обратным ходом предохранительную промывалку *б* (рис. 23, *в*).

Получение газов термическим разложением твердых веществ

Газообразные вещества образуются также при прокаливании твердых соединений. Для получения газов таким способом разлагаемое вещество помещают в реторту или пробирку из тугоплавкого стекла и нагревают. При прокаливании веществ необходимо следить за наличием свободного выхода выделяющегося газа и применять меры безопасности, описанные в подразд. 3.4.

Очистка газов

Полученные химическим путем газы часто содержат пары воды, летучие компоненты реагирующих веществ, продукты побочных реакций и аэрозольные загрязнения. При использовании газометров газы увлажняются парами воды. Газы из баллонов также иногда требуют очистки.

Для очистки газов используются фильтры, промывалки, U-образные трубки или осушительные колонки, заполненные жидкими или твердыми реагентами или поглотителями.

Фильтры для очистки газов. Для очистки газов от аэрозолей: капелек кислоты, частичек распыленных твердых реагентов и т. д. газ пропускают через неплотный ватный тампон, вставленный в прямую трубку с расширением (рис. 24, *а*) или в U-образную трубку (рис. 24, *а, б*). Для очистки атмосферного воздуха от пыли удобно использовать стеклянный пористый фильтр (рис. 24, *в*).

Очистка газов жидкими реагентами и поглотителями осуществляется при пропускании газа через склянки с промывной жидкостью. В качестве таковых в

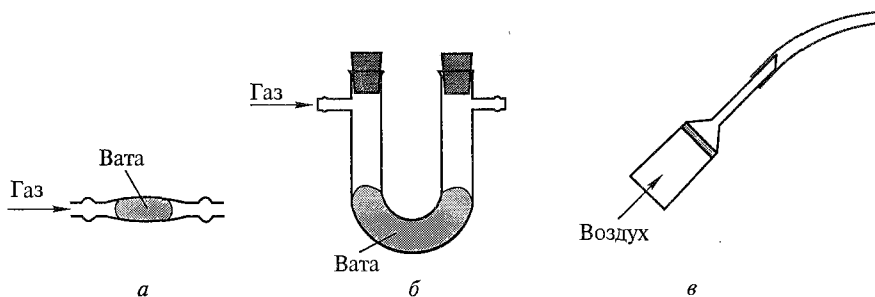


Рис. 24. Фильтры для очистки газов и воздуха:

а — прямая трубка с расширением с ватным фильтром; *б* — U-образная трубка с ватным фильтром; *в* — очистка воздуха с помощью стеклянного пористого фильтра

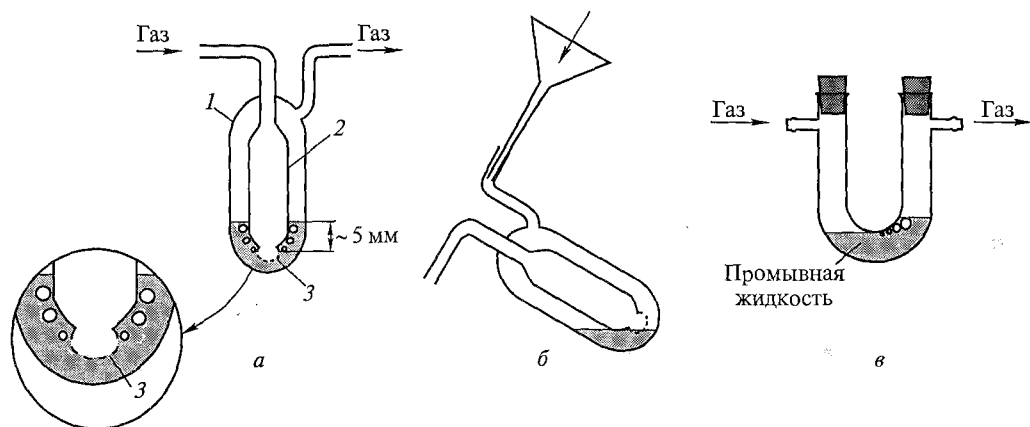


Рис. 25. Промывалки для очистки газов:

а, б — промывалка Мюнке (в действии и при заполнении); *в* — U-образная трубка в качестве промывалки; 1 — корпус промывалки; 2 — внутренняя трубка с расширением; 3 — отверстия

практикуме используют неразборную промывалку Мюнке, изображенную на (рис. 25, *а, б*), или, иногда, U-образные трубки (рис. 25, *в*). Промывалка Мюнке состоит из корпуса 1, внутрь которого впаяна трубка 2 с расширением. В нижней части трубки 2 имеются маленькие отверстия 3 для барботирования газа через жидкость. Промывалку заполняют промывной жидкостью на ~5 мм выше выходных отверстий с помощью тонкой воронки Мюнке (см. рис. 25, *б*). Такое количество жидкости обеспечивает достаточную эффективность очистки, не создает излишнего гидравлического сопротивления току газа. Для безопасного выполнения эксперимента объем жидкости выше отверстий 3 не должен превышать $\frac{1}{2}$ — $\frac{1}{3}$ объема внутренней трубки 2. В этом случае при изменении направления тока газа промывная жидкость останется внутри промывалки и не будет переброшена обратно в прибор. Для хранения заполненных промывалок отводы промывалки замыкают коротким отрезком шланга.

Очистка газа пропусканием через колонки и U-образные трубки, заполненные твердым реагентом (поглотителем), гранулированным или порошкообразным на носителе иллюстрируется рис. 26.

Заполнение колонок гранулированными веществами (хлоридом кальция, твердыми гидроксидами натрия или калия, силикагелем, цеолитами и др.) проводят следующим образом: на дно колонки поместите слой стеклянной или каолиновой ваты, затем примерно на $\frac{3}{4}$ высоты колонки слой реагента, а затем опять слой стекловаты (рис. 26, *а*). Стекловата препятствует высыпанию реагента (поглотителя) из колонки и его распылению в токе газа. Для повышения эффективности работы колонок рекомендуется чередовать слои твердого реагента (поглотителя) и стекловаты. Сверху колонок закройте пробкой. Аналогично заполняют U-образные трубки (рис. 26, *а*). Для хранения, даже кратковременного, отводы колонок и U-образных трубок замкните коротким отрезком шланга.

Тонкодисперсные реагенты, такие как оксид фосфора(V), помещают в колонку на носителе — стеклянной или каолиновой вате. (*В вытяжном шкафу, в перчатках и защитных очках!*) Для этого в большую фарфоровую чашку поло-

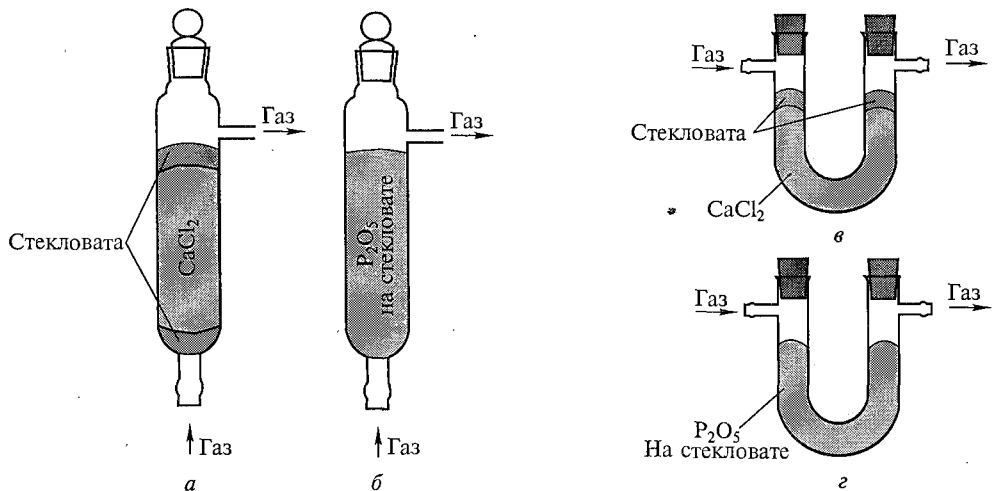


Рис. 26. Колонки (а, б) и U-образные трубки (в, з)

жите необходимое количество стекловаты, добавьте порошок оксида фосфора(V) и быстро смешайте. Порошок должен остаться на волокнах стекловаты. Затем стекловату с оксидом фосфора(V) с помощью пинцета также быстро внесите в колонку или U-образную трубку и закройте пробками, а отводы замкните коротким шлангом.

Хлоркальциевую трубку (рис. 27) используют для защиты реакционной смеси от влаги воздуха и, иногда, углекислого газа. Несмотря на название «хлоркальциевая трубка» ее заполняют не только хлоридом кальция, но и натронной известью, оксидом фосфора(V) и другими твердыми реагентами — поглотителями.

Хлоркальциевую трубку (см. рис. 27) устанавливают на приборе с обратным наклоном или горизонтально, чтобы ее содержимое не могло случайно попасть в реакционную смесь.

Реагенты и поглотители для очистки газов. Для очистки газов от примесей в практикуме рекомендуется использовать реагенты, приведенные в табл. 3. Для осушки газов предлагается несколько реагентов, различающихся способностью к поглощению паров воды, их характеристики даны в табл. 4.

При выборе реагента или поглотителя необходимо учитывать его отношение к очищаемому газу. Возможны самые разные схемы очистки в зависимости

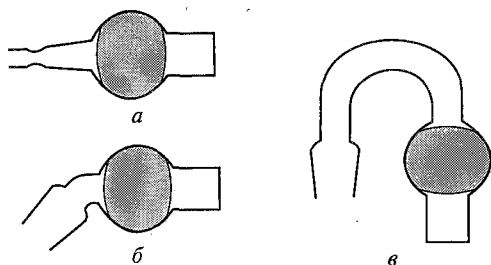


Рис. 27. Хлоркальциевые трубки:
а — «под шланг»; б, в — трубки со шлифом

Рекомендуемые реагенты и поглотители для очистки газов от примесей

Примесь	Реагент или поглотитель
Пары воды	Безводный хлорид кальция
	Серная кислота, конц.
	Оксид фосфора(V)
	Силикагель, цеолиты
	Гранулированный гидроксид калия или натрия
Кислород	Медная стружка при нагревании
	Щелочной раствор пирогаллола
Хлороводород	Вода
Бром, иод	Фосфор красный
Оксид азота(II)	Азотная кислота, конц.
Оксид азота(IV)	Раствор гидроксида натрия
Оксид углерода(IV)	Раствор гидроксида натрия
Оксид серы(IV), сероводород	Раствор гидроксида натрия, подкисленный насыщенный раствор перманганата калия
Мышьяковистый водород (арсин)	Подкисленный насыщенный раствор перманганата калия

Таблица 4

Осушители для газов

Вещество	Давление водяного пара, мм рт. ст* (20°C)	Примечание
Сульфат меди	1,4	Неприменим для аммиака, используется, в основном, в эксикаторах
Хлорид кальция	0,2	Не применяется для осушки аммиака и фтороводорода
Гидроксид натрия	0,16	Неприменим для газов, взаимодействующих со щелочами
Сульфат кальция	0,005	Нейтральный
Серная кислота, конц.	0,003	Обладает окислительными свойствами. Неприменима для H ₂ S, NH ₃ , H ₂ , HBr
Силикагель	0,002	Регенерируется при 300°C
Гидроксид калия	0,002	Неприменим для газов, взаимодействующих со щелочами
Оксид фосфора(V)	0,00002	Неприменим для аммиака и галогеноводородов

* 1 мм рт. ст. = 133 Па.

от требуемой степени очистки, химической природы получаемых газов и сопровождающих их примесей. Поэтому перед сборкой прибора следует продумать и выбрать наиболее рациональные схемы очистки с учетом эффективности поглощения примесей используемыми реагентами.

От каких примесей и как следует очищать:

- а) водород, полученный взаимодействием серной кислоты с цинком;
- б) хлор, полученный взаимодействием соляной кислоты с перманганатом калия;
- в) сероводород, полученный взаимодействием соляной кислоты с сульфидом железа(II);
- г) оксид азота(II), полученный взаимодействием 20%-ной азотной кислоты с медью;
- д) оксид азота(IV), полученный взаимодействием концентрированной азотной кислоты с медью;
- е) аммиак, полученный взаимодействием его водного раствора с гранулированным гидроксидом натрия;
- ж) оксид углерода(II), полученный взаимодействием концентрированной серной кислоты с щавелевой кислотой?

3.5. Сборка приборов

Основные принципы сборки безопасных приборов

При сборке даже простейшего прибора следует уделить особое внимание его безопасности в работе. Избыточное давление газа в приборе не должно превышать 10—20 мм рт. ст. Газообразные продукты могут выделяться в ходе многих химических реакций, даже нагревание закрытой колбы ведет к повышению давления воздуха в ней.

Для того, чтобы в приборе не создавалось повышенное давление газа и не происходил обратный переброс реагентов при изменении тока газа, необходимы особые меры предосторожности.

1. Нельзя проводить реакции в замкнутом объеме (закрытой пробкой пробирке, колбе и т. д.) и нагревать закрытые сосуды (рис. 28, а). Всегда должно быть предусмотрено свободное сообщение с атмосферой, например, через хлоркальциевую трубку.

2. Следует использовать источники газа с автоматическим поддержанием давления на низком уровне ($P_{\text{избыт}} \leq 10—20$ мм рт. ст.) и автоматическим прекращением подачи газа при закупорке прибора. В противном случае должна быть предусмотрена система аварийного сброса избыточного газа (см. рис. 23, а).

3. Чтобы содержимое промывалки не попало в реакционный сосуд при изменении направления тока газа, между ними можно поставить обратным ходом дополнительную пустую предохранительную промывалку (рис. 28, б, в). Предохранительную промывалку всегда ставят между колбой Вюрца и промывалкой с серной кислотой при получении хлора действием соляной кислоты на перманганат калия (см. рис. 23, в). Рекомендуется ставить предохранительную промывалку между промывалками с водой и концентрированной серной кислотой. Для предотвращения попадания в заполненную промывалку реакционной смеси, через которую пропускают газ, между ними необходимо поставить обратным ходом пустую предохранительную промывалку (рис. 28, б).

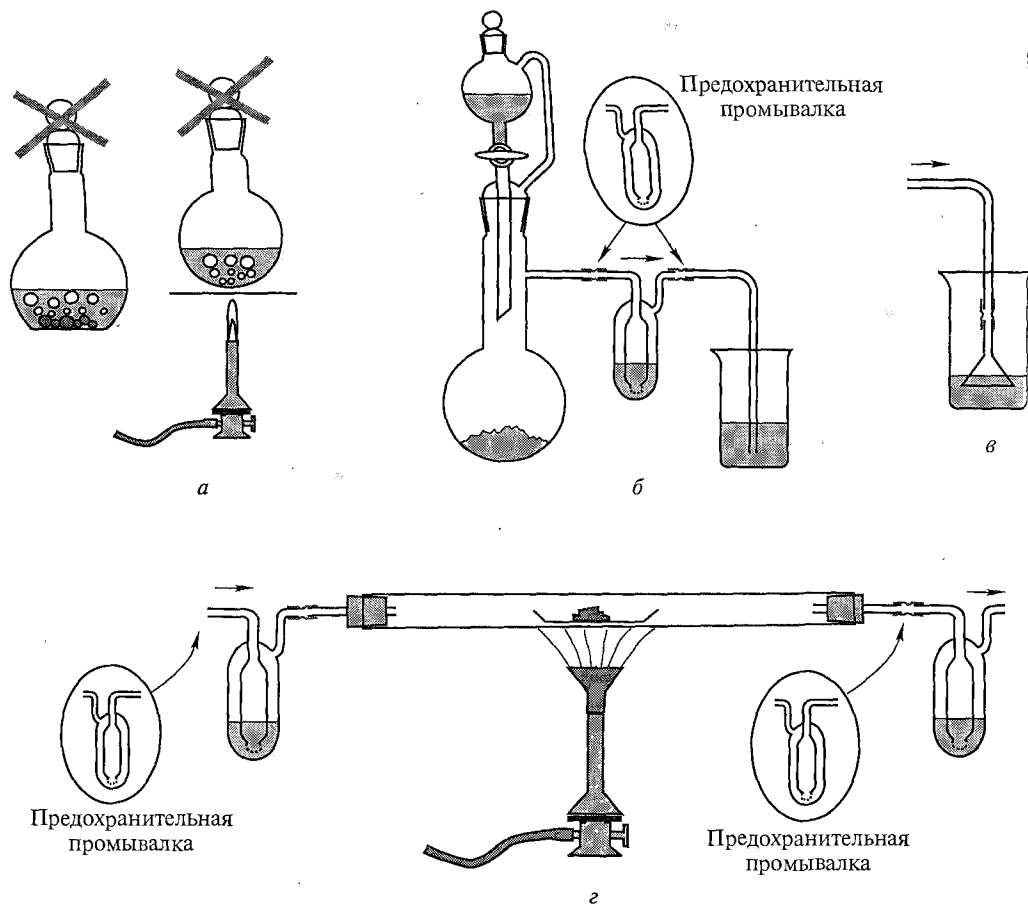


Рис. 28. Основные принципы сборки безопасных приборов

4. Конструкция прибора должна исключать возможность закупоривания подвода и/или отвода газов продуктами реакции.

5. Чтобы реакцию смесь, через которую пропускают газ, не затянуло обратно и для исключения закупоривания прибора к выходу газоподводящей трубки можно присоединить перевернутую химическую воронку (рис. 28, в).

6. Для контроля за током газа, ходом реакции и герметичностью прибора при проведении синтеза устанавливайте промывалки-счетчики пузырьков на входе и выходе прибора (рис. 28, г).

Правила сборки приборов

Перед тем как приступить к сборке прибора продумайте и нарисуйте его схему (рис. 29, а), обратив особое внимание на меры безопасности. Также определитесь с местом сборки прибора — на лабораторном столе или в вытяжном шкафу.

При сборке прибора руководствуйтесь следующими основными правилами.

1. Прибор должен занимать минимум места на рабочем столе или в вытяжном шкафу. Не стремитесь выстроить прибор в одну линию, возможны и другие варианты монтажа кроме линейного, например, зигзагообразный, кольцевой, винтовой и т.д.

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

3. Резиновые соединительные трубки должны быть *минимальной длины*, так как резина взаимодействует с используемыми в синтезе агрессивными газами и парами (хлор, пары брома, оксиды азота и др.). Если нельзя обойтись без длинного соединения, то вместо шлангов используйте стеклянные трубки диаметром 6—8 мм.

4. Соединительные трубки должны плотно облегать соединяемые детали, что возможно при использовании трубок несколько меньшего внутреннего диаметра по сравнению с наружным диаметром соединяемых деталей. Наиболее плотные соединения получаются при надевании резиновой трубки на стеклянную трубку с оливкой.

(Не допускается соединять резиновые трубки одна в другую, без переходника.)

Для крепления прибора используйте штативы с набором лапок и колец разной конфигурации, а для установки водяных и песчаных бань — треножки. При сборке прибора обратите внимание на некоторые особенности его монтажа на штативе.

Лапки и кольца. Вначале подберите наиболее подходящие по размеру и назначению лапки и кольца.

Для крепления лапок и колец на штативе установите муфты вырезом вверх, в этот вырез сверху вставьте лапку и зажмите винтом (рис. 29, б). Раздвижная часть лапки состоит из неподвижной и подвижной части, фиксируемой винтом.

Для горизонтального крепления деталей прибора лапку установите неподвижной частью вниз (рис. 29, в).

Монтаж прибора. Стеклянные элементы прибора нужно крепить в лапках через мягкий прокладочный материал (фетр, резину, стеклоткань, иногда листовой асбест), предпочтительно за цилиндрическую часть, что обеспечивает наиболее надежную их фиксацию.

На новых лапках обычно имеются фетровые прокладки, которые со временем приходят в негодность. Резиновые прокладки можно изготовить из обрезков шланга, их можно применить для крепления деталей, находящихся вне зоны нагрева, в противном случае, в качестве прокладочного материала рекомендуется использовать толстую стеклоткань или, в крайнем случае, кусочки листового асбеста.

Во избежание повреждения отдельных элементов прибора при их установке рекомендуется придерживаться следующего порядка монтажа: между неподвижной частью лапки и фиксируемой деталью прибора поместите первую прокладку и слегка придавите укрепляемой деталью. Со стороны подвижной части лапки установите вторую прокладку и всю конструкцию плотно сдавите пальцем, затем зафиксируйте это положение винтом лапки (см. рис. 29, в). Винт не затягивайте, иначе можно разрушить прибор. При креплении детали в лапке штатива, а особенно при ее стыковке с другими частями прибора во избежание перекосов и, как следствие, поломки прибора, ослабляйте только один из

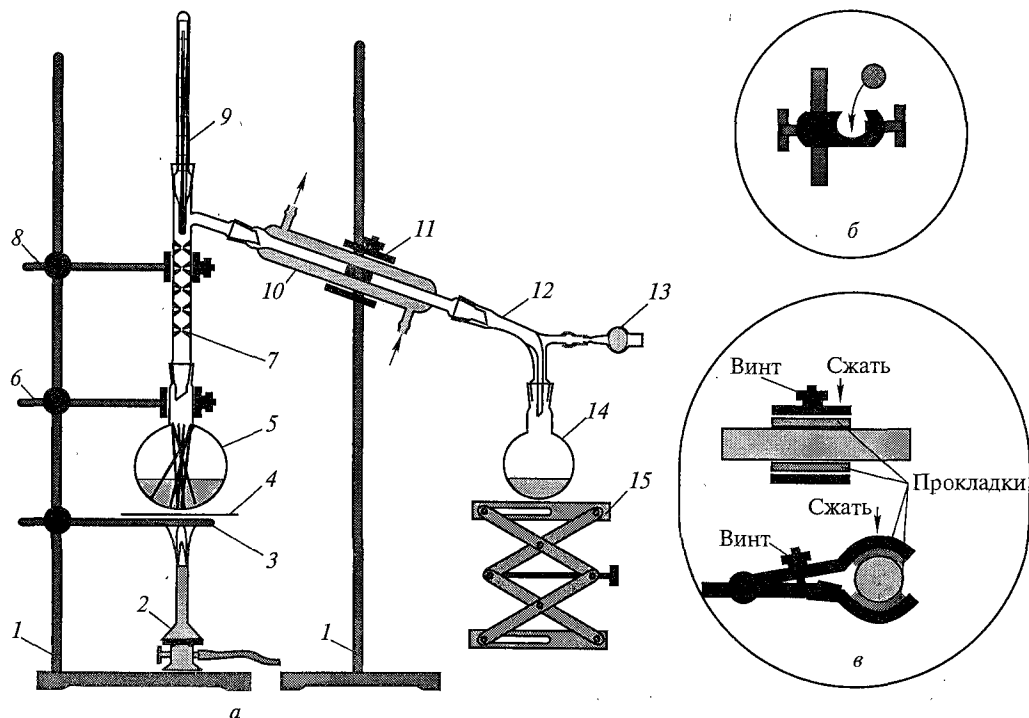


Рис. 29. Прибор для фракционной перегонки:

a — схема сборки прибора; *б* — крепление лапок и колец; *в* — горизонтальное крепление деталей прибора; 1 — штативы; 2 — горелка; 3 — кольцо; 4 — асбестовая сетка или стеклокерамическая пластина; 5 — колба; 6, 8, 11 — лапки; 7 — дефлегматор; 9 — термометр; 10 — холодильник; 12 — аллонж; 13 — хлоркальциевая трубка; 14 — колба-приемник; 15 — подъемный столик

трех винтов («муфта-штатив», «лапка-муфта» и «закрепляемая деталь-лапка»), остальные винты должны быть надежно зафиксированы.

В качестве примера рассмотрим сборку прибора для фракционной перегонки жидкостей (см. рис. 29, *a*). Установите штативы 1 и горелку 2. Закрепите на штативах муфты для крепления кольца и лапок. Выше горелки зафиксируйте кольцо 3 с асбестовой сеткой или стеклокерамической пластиной 4. Между горелкой и сеткой должно оставаться достаточное место для пламени. Над сеткой, на высоте 1—3 мм, установите колбу 5 в лапке 6, к колбе строго вертикально подсоедините дефлегматор 7 в лапке 8. Отрегулируйте высоту установки лапки 11 для крепления холодильника 10. Установите холодильник в лапке, аккуратно состыкуйте с дефлегматором не зажимая лапку, и затем зажмите лапку пальцами руки и зафиксируйте в этом положении винтом (рис. 29, *в*). С помощью резиновых колец закрепите на холодильнике аллонж 12 с хлоркальциевой трубкой 13 и колбу-приемник 14, под которую поставьте подъемный столик 15. В последнюю очередь установите термометр 9. Недостающие для сборки прибора стеклянные изогнутые трубки, трубки с оттянутым носиком и капилляры изготовьте сами. Заранее подготовьте оттянутые пробирки для запаивания неустойчивых на воздухе синтезированных веществ.

Работа со стеклом*

Резка стеклянных трубок и палочек. Чтобы отрезать трубку нужной длины, значале на трубке сделайте один надрез резаком из твердого сплава или напильником. Затем трубку оберните полотенцем, возьмите двумя руками так, чтобы большие пальцы были под надрезом и сломайте, слегка сгибая трубку концами к себе при одновременном растяжении трубки. Стеклянные палочки ломают аналогично. Таким образом можно разрезать трубки диаметром до 10—12 мм.

Оплавление кромок стекла. Для оплавления острых кромок стекла конец трубки (палочки) постепенно внесите в верхнюю часть пламени паяльной горелки и прогрейте при непрерывном вращении вокруг оси до оплавления стекла. Пламя горелки при этом принимает желтое окрашивание.

Сгибание стеклянных трубок (рис. 30). Стеклянную трубку 1 прогрейте на участке длиной 5—6 см в месте сгиба при непрерывном вращении ее вокруг оси на пламени газовой горелки 2 с насадкой «ласточкин хвост» 3. Когда пламя окрасится в желтый цвет и стекло настолько размягчится, что трубка сама начнет гнуться, выньте ее из пламени и согните плавным быстрым движением до нужного угла. Правильно согнутая трубка не должна иметь складок и сужений.

Изготовление трубок с оттянутым носиком. Стеклянную трубку прогрейте при вращении в пламени паяльной горелки или горелки с насадкой «ласточкин хвост» до размягчения стекла, затем выньте из пламени и осторожно растяните до нужного диаметра. Когда трубка остынет, на оттянутом участке сделайте надрез и отломите ненужный конец. Острые кромки стекла можно оплавить.

Изготовление капилляров. Стеклянную трубку разогрейте в пламени паяльной горелки и сильно растяните вне пламени. Затем капилляр разрежьте на части и запаяйте с одной стороны.

Изготовление оттянутых пробирок. Разогрейте среднюю часть пробирки при вращении в пламени паяльной горелки до размягчения стекла и осторожно растяните вне пламени горелки до нужной длины.

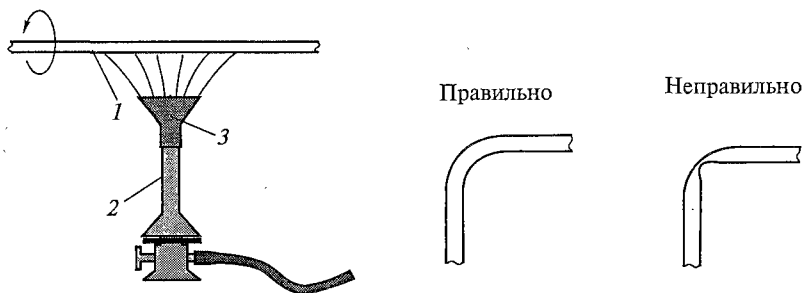


Рис. 30. Сгибание стеклянных трубок:

1 — стеклянная трубка; 2 — горелка; 3 — насадка «ласточкин хвост»

* Работа проводится в защитных очках!

Подбор и сверление пробок

При использовании химической посуды и трубок «под пробку» необходимо подобрать резиновые пробки и просверлить в них отверстия.

Резиновую пробку подбирают к соответствующему сосуду или трубке так, чтобы она более чем наполовину входила в отверстие.

Пробки лучше всего сверлить на электрическом сверлильном станке острым резцом. Для повышения качества сверления резиновую пробку можно предварительно заморозить в жидком азоте. Отверстие в пробке можно просверлить и вручную с использованием специального набора кольцевых сверл. В этом случае конец кольцевого сверла рекомендуется смочить глицерином. Для сверления отверстия в резиновой пробке диаметр сверла должен соответствовать диаметру вставляемой трубки или быть немного меньше в зависимости от жесткости резины.

Загрузка приборов химическими реагентами

Для заполнения прибора жидкими и сухими реагентами используют воронки разного назначения. Жидкие вещества наливают через обычные химические воронки. Сыпучие вещества вносят в колбу через широкие воронки (см. рис. 10), соответствующие по диаметру горлу колбы. В этом случае исключается загрязнение шлифов твердыми веществами.

Проверка прибора на герметичность

Собранный прибор проверьте на герметичность. Для этого вначале внимательно осмотрите прибор, пробки должны плотно прилегать к стеклу, образуя хорошо видимое неразрывное так называемое «кольцо прилегания», а соединительные трубки, растягиваясь, плотно облегают соединяемые детали (рис. 31).

Для определения герметичности реакционной колбы с подсоединенными к ней промывалками (рис. 28, б) можно слегка подогреть ее ладонью, при этом

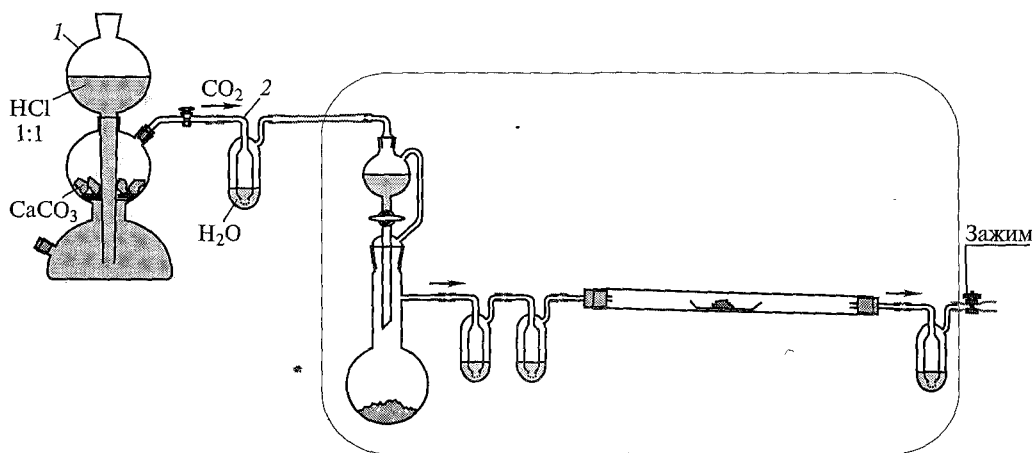


Рис. 31. Проверка герметичности прибора:
1 — аппарат Киппа; 2 — промывалка с водой

за счет термического расширения воздуха в колбе должен измениться уровень жидкости в промывалках или даже проскочить несколько пузырьков.

О герметичности реактора (см. рис. 28, з) можно судить по одинаковой скорости пробулькивания газа через промывалку на входе и выходе реактора.

Если закрыть выход прибора, подсоединенного к колбе Вюрца с длинной воронкой (рис. 21, а), то в герметичном приборе уровень жидкости в воронке должен подняться.

(Никогда не перекрывайте (даже кратковременно!) выход из колбы Вюрца с установленной в ней капельной воронкой (см. рис. 23, б, в)!)

3.6. Приемы нагревания и охлаждения

Нагревание

Нагревание пробирок. При нагревании в пробирке небольших количеств раствора (рис. 32, а) закрепите ее в держателе или лапке штатива в слегка наклонном положении (*отверстие пробирки должно быть направлено от себя и от соседей!*). Осторожно, небольшим пламенем горелки 1 прогрейте всю пробирку 2 (*держатель не грейте!*), затем доведите до кипения верхний слой жидкости и, опуская пламя, доведите до кипения все содержимое пробирки.

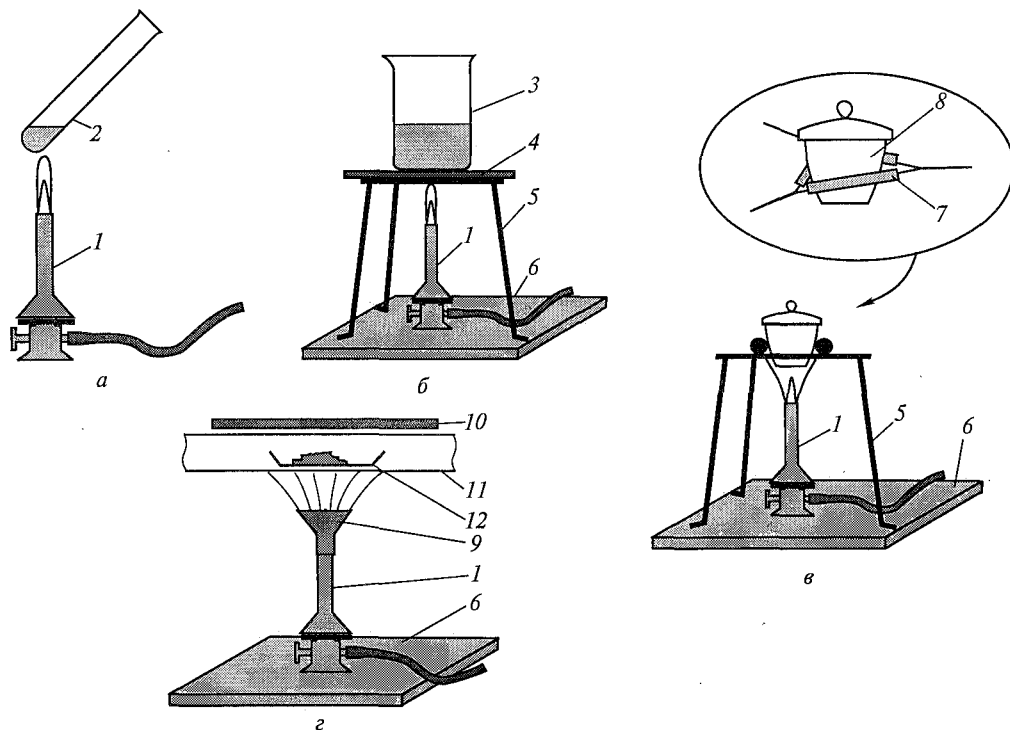


Рис. 32. Приемы нагревания:

а — в пробирках; б — в плоскодонной тонкостенной посуде; в — в тиглях; г — в реакционных трубках; 1 — горелка; 2 — пробирка; 3 — стакан; 4 — асбестовая сетка или стеклокерамическая пластина; 5 — треножник; 6 — теплоизолирующая подставка; 7 — треугольник; 8 — тигель; 9 — насадка «ласточкин хвост»; 10 — тепловой экран; 11 — реакционная трубка; 12 — лодочка

Свечение твердых тел

$t, ^\circ\text{C}$	Свечение	$t, ^\circ\text{C}$	Свечение
500—600	Темно-красное	1000—1200	Белое
600—800	Вишнево-красное	> 1500	Ярко-белое
800—1000	Желтое		

Нагревание плоскодонной посуды. Нагревания растворов в химическом стакане 3 или плоскодонной колбе проводят на электрической плитке или газовой горелке 1, на треножнике 5 через асбестовую сетку или стеклокерамическую (керамическую) пластину 4, рассеивающую тепло газовой горелки (рис. 32, б). Треножник 5 и газовую горелку 1 устанавливают на пластину 6 из теплоизолирующего материала для того, чтобы не перегреть поверхность рабочего стола.

Нагревание колб. Для нагревания колб используют электрические колбонагреватели, бани (песчаные, водяные, воздушные) и газовые горелки. В этом случае колбу нагревают через асбестовую сетку или стеклокерамическую пластину (см. рис. 29). Асбестовую сетку (стеклокерамическую пластину) устанавливают так, чтобы между ней и нагреваемой колбой был небольшой зазор около 1—3 мм. В некоторых случаях допускается прямое нагревание пламенем горелки.

Нагревание тиглей. В зависимости от температуры используют различные способы нагревания тиглей. Для прокаливания веществ в тигле 8 без контроля температуры обычно используют газовую горелку 1 (рис. 32, в). Температура тигля при этом обычно не превышает 400 °С. До более высоких температур (до 600 °С) тигель можно нагреть паяльной горелкой. Тигель 8 помещают в фарфоровый треугольник 7, установленный на треножнике 5 или в кольце штатива. О примерной температуре тигля можно судить косвенно по его свечению (табл. 5).

Использование тигельных, шахтных и муфельных электрических печей позволяет вести нагревание при контролируемой температуре от 100 до 1100 °С.

Нагревание реакционных трубок. Горизонтальные реакционные трубки (рис. 32, г) нагревают с помощью трубчатых электрических печей или газовой горелки. Для разогрева трубки по длине в последнем случае используют насадки для горелки «ласточкин хвост» 9. Для повышения температуры в реакционной трубке 11 при нагревании газовой горелкой поверх трубки устанавливают экран 10 из жаростойкого материала, например керамическую пластину или лист асбеста, изогнутый «домиком».

Нагревание вертикальных реакторов. Вертикальные реакторы нагревают в шахтных (тигельных) электрических печах или в химическом стакане с водой.

Упаривание растворов проводят в фарфоровых чашках на водяной (паровой) или песчаной банях (см. рис. 13).

Охлаждение

Для охлаждения реакционного сосуда его погружают в баню (кристаллизатор) или химический стакан с охлаждающей смесью. В качестве охлаждающих смесей используют лед с водой или лед с водой и солью, обычно хлори-

дом натрия. Присутствие воды в смеси необходимо для более эффективного охлаждения реакционного сосуда, так как воздух является плохим проводником тепла.

Для приготовления охлаждающей смеси льда с водой заверните кусок льда в полотенце или поместите в холщовый мешок и разбейте молотком на мелкие куски. Измельченный лед внесите в кристаллизатор (стакан) и добавьте воды. Вместо льда можно использовать снег.

Охлаждающую смесь льда с хлоридом натрия готовят следующим образом. Разбитый в холщовом мешке молотком лед поместите в большую фарфоровую ступку, дополнительно измельчите пестиком и добавьте мелкокристаллическую соль в расчете 35 г на 100 г льда (не взвешивайте! возьмите две полные столовые ложки соли на стакан льда). Воду добавлять не надо, она образуется сама в результате таяния льда при приготовлении смеси. Смесь льда и хлорида натрия позволяет понижать температуру до $-21,2^{\circ}\text{C}$. Использовать снег для приготовления охлаждающих смесей с солью не рекомендуется: он слишком рыхлый.

Состав и минимальная температура охлаждающих смесей

Соль	NH_4NO_3	NaNO_3	NaCl	$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	HNO_3
Количество соли (г)					
на 100 г льда	45	59	33	143	50
$t_{\text{min}}, ^{\circ}\text{C}$	$-17,3$	$-18,5$	$-21,2$	-40	-56

ГЛАВА 4

ВЫДЕЛЕНИЕ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРОДУКТОВ РЕАКЦИИ

4.1. Подготовка к фильтрованию

Синтезируемое вещество может быть получено в виде осадка, кристаллического или студенистого, или даже коллоидного раствора. Ниже приведены приемы отделения твердого вещества от раствора методом фильтрования. Перед проведением фильтрования кристаллические осадки желательно промыть, а коллоидные растворы скоагулировать.

Осаждение частиц коллоидного раствора. Коллоидные частицы легко проходят через самый тонкий фильтр. Для их осаждения нагревают или даже кипятят раствор.

Промывание осадков методом декантации. Декантация — это сливание жидкости с отстоявшегося осадка. Промывание с применением декантации заключается в том, что осадок, подлежащий промыванию, заливают дистиллированной водой, иногда горячей, или специально приготовленной промывной жидкостью, взбалтывают при помощи стеклянной палочки, затем дают отстояться. Просветлевшую жидкость, собравшуюся над осадком, сливают по стеклянной палочке на фильтр в воронке, но так, чтобы осадок оставался в колбе или стакане. К оставшемуся в сосуде осадку приливают промывную воду и повторяют операцию. После третьего или четвертого промывания проверяют полноту отмывки. Когда отмываемые вещества не будут обнаруживаться, к осадку

добавляют еще некоторое количество воды, взбалтывают его и, не давая отстояться, по палочке переносят на фильтр, через который сливали промывную жидкость. Эту операцию повторяют до тех пор, пока на фильтр не будет перенесен весь осадок.

4.2. Типы фильтров

Для отделения осадков используются фильтры. В практикуме применяют бумажные и стеклянные пористые фильтры.

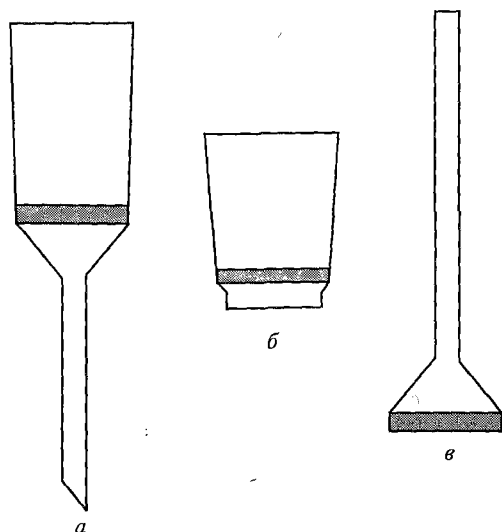


Рис. 33. Стеклянные пористые фильтры: *а, б* — соответственно воронка и тигель со стеклянным фильтрующим дном; *в* — трубка с фильтрующей пластиной

Бумажный фильтр готовят из фильтровальной бумаги разной плотности и используют при фильтровании на химической воронке или воронке Бюхнера.

Фильтровальная бумага отличается от обычной тем, что не проклеена, более чиста по составу и волокниста. Выпускаются и готовые фильтры, нарезанные кругами разного диаметра из фильтровальной бумаги разной плотности, которую можно определить по цвету ленты, скрепляющей пачку.

Принята следующая маркировка бумаги по ее плотности:

розовая (или черная) лента — быстросебяющие фильтры;

белая лента — бумага средней плотности;

синяя лента — плотные фильтры для отделения мелкозернистых осадков.

Недостаток бумажных фильтров — низкая химическая стойкость к агрессивным реагентам.

Стеклянный пористый фильтр (рис. 33) с вплавленной фильтрующей пластиной из прессованного (пористого) стекла устойчив к действию агрессивных

Таблица 6

Типы стеклянных пористых фильтров

Фильтр	Размер пор, мкм	Для работы с осадками
№ 1	100—120	Крупнокристаллическими
№ 2	40—50	Кристаллическими
№ 3	20—25	Мелкими кристаллическими (AgCl и др.)
№ 4	4—10	Очень мелкими кристаллическими (BaSO ₄ , Cu ₂ O и др.)

реагентов и пригоден для фильтрования концентрированных кислот и разбавленных щелочей.

Выпускаются фильтры четырех типов (табл. 6) с порами разной величины. Фильтры № 1 и № 2 применяют для отделения крупнозернистых осадков, № 3 и № 4 — мелкозернистых.

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

4.3. Фильтрование через химическую воронку

Для фильтрования через химическую воронку используют *гладкий* или *складчатый* бумажный фильтр. При выполнении задач практикума проводится фильтрование через воронку как при комнатной, так и при повышенной температуре («горячее фильтрование»).

Гладкий фильтр готовят из круглого фильтра, соответствующего размеру воронки, или вырезают из квадратного листа фильтровальной бумаги. Для этого фильтровальную бумагу складывают пополам и еще раз пополам и обрезают по дуге по размеру воронки. Полученный конус вставляют в воронку и смачивают дистиллированной водой. Фильтр всей своей поверхностью должен плотно, без пузырьков воздуха, прилегать к стенкам воронки. Край фильтра должен быть ниже края воронки примерно на 0,5 см. Стелянную воронку 1 с бумажным фильтром 2 помещают в кольцо штатива так, чтобы нижний конец ее соприкасался со стенкой стакана, в который фильтруют раствор. Фильтруемый раствор с взмученным осадком переносят на фильтр по стеклянной палочке 3 (рис. 34).

Складчатый фильтр используют для ускорения фильтрования, особенно горячего, когда недопустимо охлаждение фильтруемого раствора. Складчатый фильтр можно изготовить из гладкого (рис. 35, а). Рекомендуемый размер складок по краю фильтра около 5—8 мм.

Горячее фильтрование (рис. 35, б) проводят через складчатый фильтр 3 в стеклянной воронке 2 с коротко об-

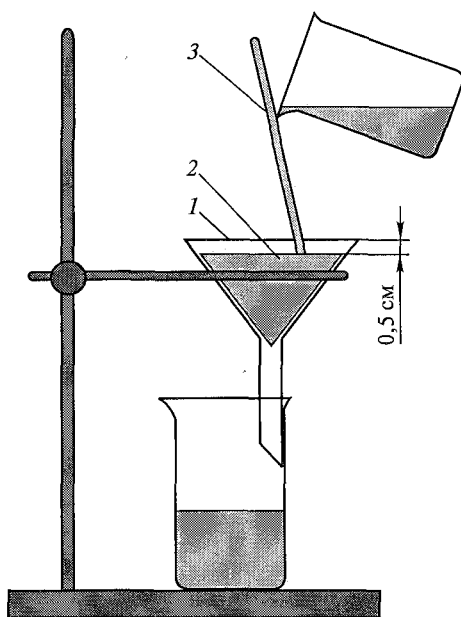


Рис. 34. Фильтрование с бумажным фильтром:

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

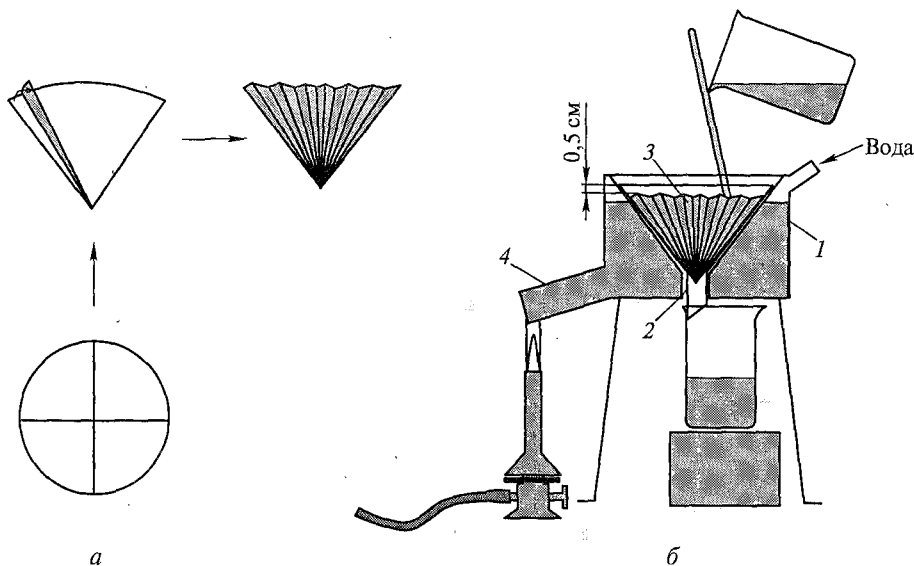


Рис. 35. Изготовление складчатого фильтра (а) и горячее фильтрование на воронке с водяным обогревом (б):

1 — водяной обогреватель; 2 — стеклянная воронка; 3 — складчатый фильтр; 4 — отросток для нагрева воды

резанной трубкой, помещенной в электрический или водяной обогреватель. Воду в последнем подогревают газовой горелкой через отросток 4.

4.4. Фильтрование под уменьшенным давлением

Основные правила фильтрования под уменьшенным давлением

Для ускорения фильтрования его проводят под уменьшенным давлением на воронке Бюхнера (рис. 36) или воронке со стеклянным фильтрующим дном.

В качестве приемника фильтрата обычно применяют толстостенную колбу Бунзена 2. Для создания разрежения можно использовать водоструйный насос, а для контроля степени разрежения — вакуумметр. В особых случаях между колбой Бунзена и водоструйным насосом помещают пустую предохранительную склянку для предотвращения перебрасывания воды из водоструйного насоса в колбу Бунзена.

(Фильтрование под пониженным давлением всегда проводят в защитной маске или защитных очках. Колба Бунзена должна быть закрыта защитным кожухом или сеткой. При проведении фильтрования не наклоняйтесь над колбой Бунзена, находящейся под вакуумом.)

При включении и выключении водоструйного насоса при проведении фильтрования рекомендуется соблюдать следующий порядок действий.

Включение насоса. При открытом кране 5 на воздух откройте кран водоструйного насоса, а затем медленно закройте его, следя за изменением вакуума.

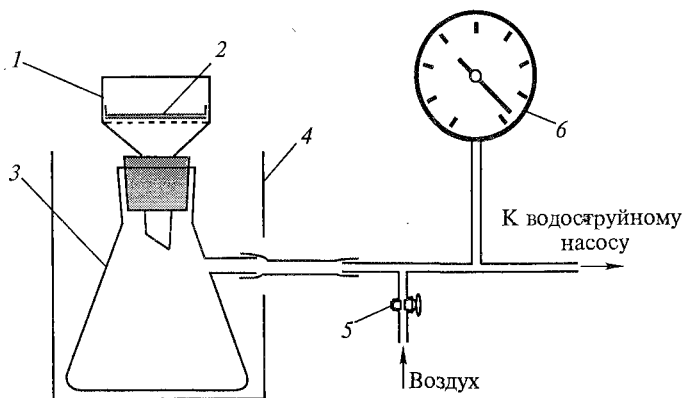


Рис. 36. Фильтрация под уменьшенным давлением:

1 — воронка Бюхнера; 2 — бумажный фильтр (двойной); 3 — колба Бунзена; 4 — защитный сосуд; 5 — кран; 6 — вакуумметр

Выключение насоса. Вначале запустите воздух в колбу Бунзена через кран 5 и лишь затем закройте кран водоструйного насоса. При нарушении порядка выключения насоса возможен переброс воды из водоструйного насоса в находящуюся под вакуумом колбу Бунзена.

Фильтрация на воронке Бюхнера

Подготовка к фильтрованию. Тщательно вымойте колбу Бунзена и воронку Бюхнера. При работе с водными растворами колбу можно не сушить. Для проведения фильтрования поместите на дно воронки Бюхнера два бумажных фильтра: нижний по размеру дна воронки, а диаметр верхнего должен быть на 0,5—1,0 см больше диаметра дна воронки.

Чтобы изготовить такие фильтры, возьмите кружок или лист фильтровальной бумаги, положите его на воронку и слегка надавите сверху ладонью. Меньший фильтр вырежьте чуть меньше контура с учетом конусности фильтровальной воронки, а больший — немного больше контура.

Меньший фильтр поместите на дно воронки, смочите небольшим количеством дистиллированной воды и плотно прижмите ко дну воронки. Сверху положите второй фильтр, смочите водой, а края расправьте по стенкам воронки с помощью оплавленной стеклянной палочки. Включите насос, чтобы фильтры плотно «присосались» ко дну и стенкам воронки. Для проверки работы насоса и герметичности прибора налейте на фильтр небольшое количество воды. Если вода, не задерживаясь, быстро проходит через фильтр, то можно приступить к фильтрованию.

Фильтрование проведите следующим образом. При выключенном водоструйном насосе перенесите на воронку Бюхнера по стеклянной палочке раствор со взмученным осадком таким образом, чтобы осадок равномерно распределился по всей поверхности фильтра, а затем включите насос. Фильтрование

считается законченным, если на конце воронки не появляются новые капли раствора.

Промывание осадка на фильтре. Для промывания осадка на фильтре вначале выключите насос и добавьте к осадку промывную жидкость, взмутите осадок стеклянной палочкой и проведите повторное фильтрование под пониженным давлением. В качестве промывной жидкости иногда используют маточный раствор, собираемый при фильтровании в колбу Бунзена.

Фильтрование на воронке со стеклянным фильтрующим дном

Фильтрование под уменьшенным давлением на воронке со стеклянным фильтрующим дном («стеклянный пористый фильтр» или «стеклянный фильтр») и промывание осадка на фильтре (рис. 37) проводят таким же способом, как и фильтрование на воронке Бюхнера.

Фильтрование неустойчивых на воздухе веществ

Фильтрование в инертной газовой среде. Для фильтрования в инертной газовой среде осадок вместе с растворителем перенесите на воронку 1 (рис. 38, а) со стеклянным фильтрующим дном, следя за тем, чтобы вещество все время находилось под слоем жидкости. Воронку 1 закройте пробкой 2 с трубкой, пережатой зажимом 3, подсоединенной к подушке с сухим аргоном или азотом и включите насос. Затем немного приоткройте зажим 3, проведите фильтрование в колбу Бунзена 4, установленную в защитном сосуде 5, и высушите осадок в слабом токе инертного газа.

По завершении фильтрования воронку 1 с веществом, закрытую пробкой 2, поместите в сухую камеру и перенесите вещество с фильтра в бюкс.

Фильтрование с эластичной мембраной. Осадок вместе с раствором перенесите на воронку со стеклянным фильтрующим дном (рис. 38, б), следя за тем, чтобы вещество все время находилось под слоем жидкости. Воронку закройте сверху эластичной мембраной б, которую можно изготовить из старой резиновой перчатки. Включите насос и проведите фильтрование. Мембрана должна плотно прижаться к осадку и, как пресс, выдавить остатки маточного раствора из осадка.

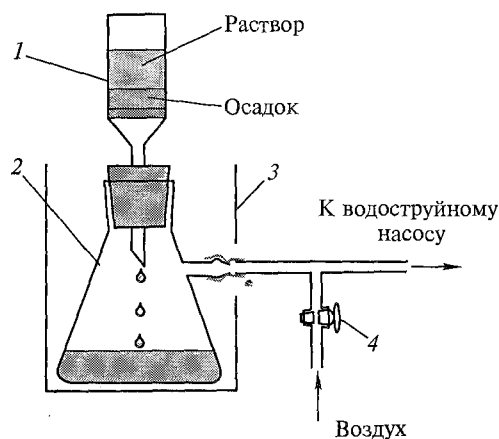


Рис. 37. Фильтрование под уменьшенным давлением на воронке со стеклянным фильтрующим дном:

1 — воронка со стеклянным фильтрующим дном; 2 — колба Бунзена; 3 — защитный сосуд; 4 — кран

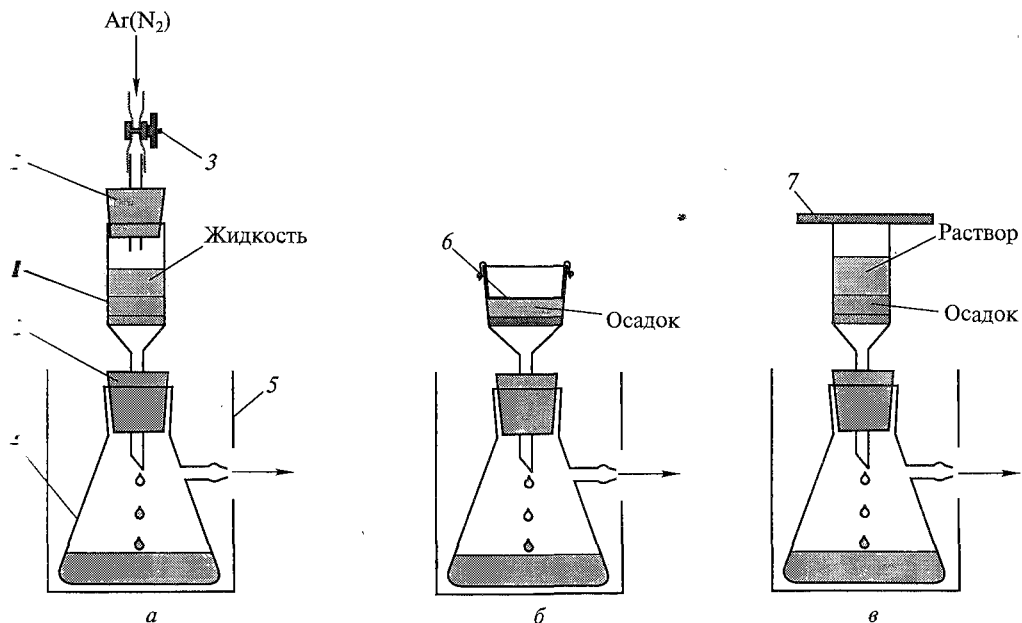


Рис. 38. Фильтрация неустойчивых на воздухе веществ:

а — в инертной атмосфере; *б* — с мембраной; *в* — с вакуумной резиной; 1 — воронка со стеклянным фильтрующим дном; 2 — пробка; 3 — зажим; 4 — колба Бунзена; 5 — защитный сосуд; 6 — мембрана; 7 — вакуумная резина

В качестве упрощенного варианта фильтрации без контакта с атмосферным воздухом допускается иногда плотно закрыть воронку для фильтрации листом вакуумной резины 7 (рис. 38, *в*), а вещество потом быстро перенести в бюкс.

Микрофильтрация

Для фильтрации небольших количеств веществ удобно использовать прибор для микрофильтрации при пониженном давлении (рис. 39), состоящий

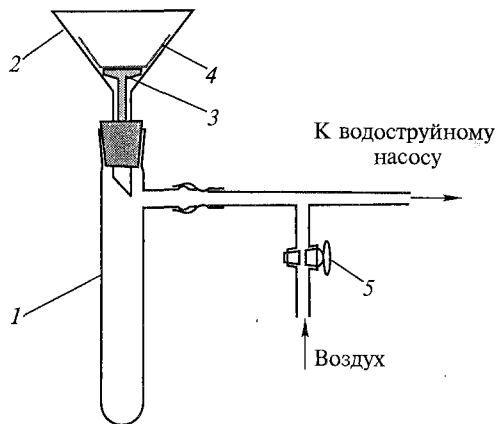


Рис. 39. Микрофильтрация:

1 — пробирка Вюрца; 2 — воронка; 3 — стеклянный «гвоздик»; 4 — бумажный фильтр; 5 — кран

из пробирки Вюрца 1, микроворонки 2 со стеклянным «гвоздиком» 3 и бумажного фильтра 4.

4.5. Центрифугирование и отделение студенистых осадков

Студенистые осадки сразу же забивают любой фильтр. Для их отделения и промывания без предварительного коагулирования прибегают к центрифугированию (основанному на ускорении оседания частиц твердой фазы под влиянием центробежной силы), которое проводят в специальных пробирках, стеклянных или пластмассовых. После центрифугирования раствор можно легко слить с осадка, и если нужно, промыть осадок (налить в центрифужную пробирку промывную жидкость и взмутить осадок) и повторить центрифугирование.

4.6. Высушивание твердых веществ

После отделения твердого вещества от раствора следует стадия высушивания.

Высушивание в сушильном шкафу происходит по следующей методике. Вещества, устойчивые на воздухе и не разлагающиеся при нагревании, лучше всего сушить в сушильном шкафу при 60—80 °С до постоянства массы, определяемой периодическим взвешиванием охлажденного в эксикаторе продукта. Сухое вещество не должно прилипнуть к стеклянной палочке и стенкам сосуда, а его масса должна оставаться неизменной при дальнейшем выдерживании в сушильном шкафу.

Высушивают кристаллогидраты и другие соединения, не выдерживающие нагревания, на воздухе или в эксикаторе. Неустойчивые на воздухе вещества сушат в эксикаторе или в вакууме.

Высушивание на воздухе небольшого количества вещества проводят на часовом стекле или в чашке Петри. Вещества насыпают тонким слоем.

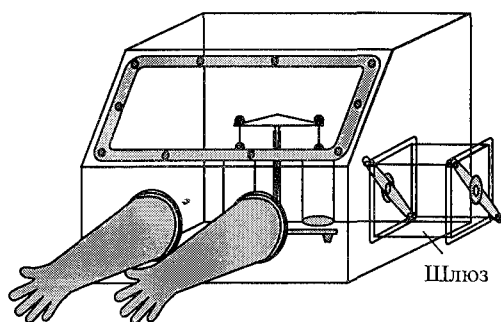
Высушивание в эксикаторе проводят над водоотнимающим реагентом. При высушивании кристаллогидратов подбирают такой реагент (см. табл. 3), который при высушивании не отнимает кристаллизационную воду. Для этого парциальное давление паров воды над водоотнимающим реагентом должно несколько превышать давление насыщенного водяного пара над кристаллогидратом.

4.7. Работа с неустойчивыми на воздухе веществами

Для работы с неустойчивыми на воздухе веществами используют герметичные сухие камеры разных конструкций. Сухая камера (рис. 40) состоит из двух основных отсеков — рабочей камеры и переходного отсека — шлюза. Внутри рабочей части камеры размещаются весы с разновесами и чашки с осушителем, обычно оксидом фосфора(V). Чашку с осушителем помещают также и в шлюзе. Для быстрого осушения камеры (вымораживания влаги) иногда вносят в нее химический стакан с жидким азотом (с соблюдением всех мер предосторожности). Избыточный газ выпускают через открытый кран камеры.

Для загрузки сухой камеры откройте вначале наружную крышку шлюза, затем внесите в шлюз все необходимое и закройте крышку. Выдержите при-

Рис. 40. Сухая герметичная камера с весами



черно 30 мин для осушки шлюза. Затем вденьте руки в камерные перчатки, откройте внутреннюю крышку шлюза, перенесите содержимое шлюза в камеру и закройте крышку. Для выгрузки из камеры проделайте обратные операции без выдержки в шлюзе.

4.8. Идентификация неорганических соединений

Исследование химических свойств

Идентифицируют получаемые соединения без использования специальных аналитических реактивов на основе совокупности химических реакций, характеризующих свойства исследуемых веществ.

Для изучения химических свойств возьмите небольшую пробу вещества или его раствора в количестве не более 0,1 г сухого вещества или 1—2 мл раствора. Сухое вещество, если требуется, растворите в 1—2 мл воды.

К 1—2 мл раствора в пробирке пипеткой добавьте несколько капель раствора реагента и наблюдайте происходящие изменения. При необходимости реакционную смесь в пробирке нагрейте с помощью электрического нагревателя или на газовой горелке. Пробирку держите в пламени горелки с помощью держателя пробирок, направляя отверстие пробирки от себя и от соседа.

Микроскопическое исследование

Кристаллические вещества кроме окраски характеризуются своей формой, что может помочь при идентификации полученных соединений, особенно в многофазных смесях. Вещество поместите на предметный столик микроскопа и рассмотрите его в отраженном или проходящем свете. В зависимости от размера кристаллов используйте длиннофокусный бинокулярный микроскоп с увеличением до 100× или короткофокусный биологический микроскоп, дающий большее увеличение.

Определение температур плавления и кипения

Схема простейшего прибора для определения температур плавления и кипения приведена на рис. 41. Исследуемое вещество б, твердое или жидкое, поместите в длинный капилляр 2 на высоту 1—1,5 см, прикрепите к термометру 3 с помощью резинового кольца 4, изготовленного, например, из ста-

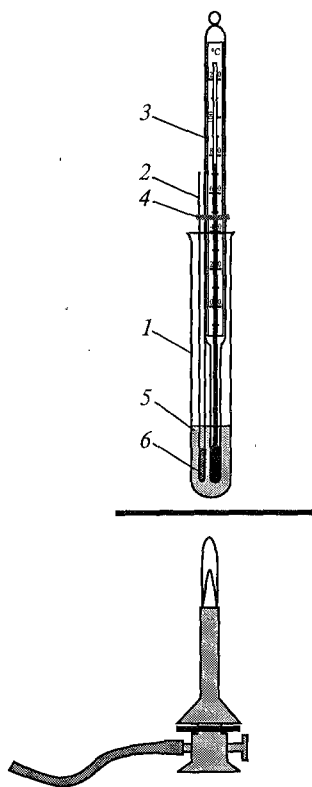


Рис. 41. Простейший прибор для определения температур плавления и кипения:

1 — пробирка; 2 — капилляр; 3 — термометр; 4 — резиновое кольцо; 5 — высококипящая жидкость; 6 — исследуемое вещество

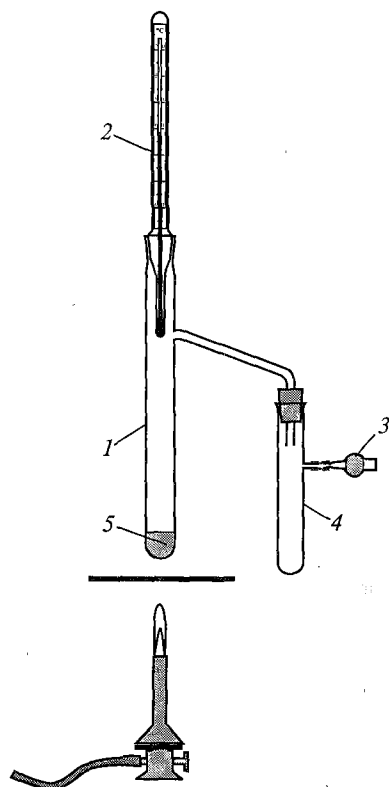


Рис. 42. Прибор для микроперегонки и определения температуры кипения:

1, 4 — пробирки Вюрца; 2 — термометр; 3 — хлоркальциевая трубка; 5 — перегоняемая жидкость

рой перчатки, и опустите в пробирку 1 с высококипящей прозрачной жидкостью 5, например, концентрированной серной кислотой. Содержимое пробирки осторожно нагревайте пламенем газовой горелки через асбестовую сетку или керамическую пластину и непрерывно наблюдайте (в защитных очках!) за изменением агрегатного состояния вещества в капилляре.

При плавлении вещество становится прозрачным, а при кипении внутри жидкости появляются поднимающиеся пузырьки газа.

Для определения температуры кипения с одновременной перегонкой жидкости можно воспользоваться прибором для микроперегонки (рис. 42).

Определение плотности жидкости

Важным физическим параметром веществ является их плотность. Для быстрого определения плотности жидкостей используют наборы ареометров (ден-

симетров) с разными диапазонами измерения. Плотность можно определить методом взвешивания жидкости известного объема, например в пикнометре.

Определение плотности жидкости ареометром. Исследуемую жидкость налейте в высокий узкий цилиндр 2 и осторожно погрузите в нее ареометр 1 (рис. 43, а). Ни в коем случае не отпускайте ареометр сразу, он может удариться о дно цилиндра и разбиться. Размер цилиндра выберите в соответствии с размером ареометра. Ареометр должен плавать, не касаясь стенок цилиндра, часть шкалы должна быть погружена в жидкость. Если ареометр тонет или шкала ареометра находится выше уровня жидкости, то смените ареометр с другим диапазоном измерений. Отсчитайте по шкале значение плотности, деления на шкале при этом должны находиться на уровне глаза.

Весовой метод определения плотности жидкости позволяет, в отличие от предыдущего, определять плотности небольших количеств жидкости. Для быстрого определения плотности отмерьте с помощью мерной пипетки определенный объем жидкости в бюкс известной массы с крышкой и взвесьте.

Для более точного определения плотности используют пикнометры, выполненные, в частности, в виде маленьких мерных колб емкостью несколько миллилитров с узким горлом (рис. 43, б), взвешивание выполняют на аналитических весах при известной температуре. Вместо пикнометра можно использовать мерную колбу. С помощью пикнометра можно определить также и плотность твердого вещества.

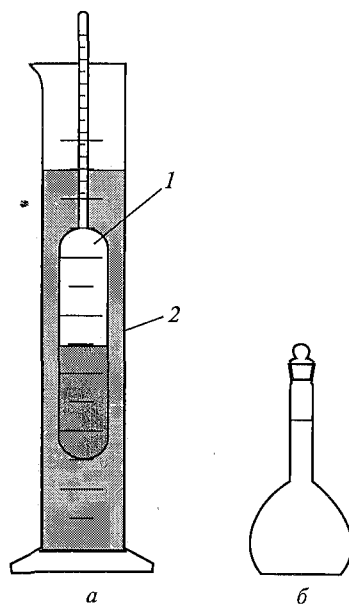


Рис. 43. Приборы для определения плотности:
а — ареометр 1 (2 — цилиндр);
б — пикнометр

ГЛАВА 5

ОЧИСТКА ВЕЩЕСТВ

5.1. Очистка твердых веществ

Очистка растворимых солей методом перекристаллизации

Соли для очистки: хлориды натрия, калия, аммония, нитрат калия, дихромат калия, сульфаты калия и меди, алюмокалиевые квасцы. Предлагаемые для очистки вещества содержат нерастворимые примеси и примеси растворимых в воде хлоридов и/или сульфатов. Перекристаллизованные соли могут быть использованы в задаче по определению растворимости (см. подразд. 7.2) в качестве исходных веществ.

Перед началом работы постройте график зависимости растворимости очищаемой соли от температуры с использованием данных, приведенных в табл. П2.4 и выберите одну из предложенных ниже методик перекристаллизации или их комбинацию. Теоретический выход должен составлять не менее 60 %.

Рассчитайте количества соли и воды, необходимые для получения 30—40 % насыщенного при 60 °С раствора. Налейте в стакан отмеренное цилиндром рассчитанное количество дистиллированной воды. Стакан поставьте на треножник с асбестовой сеткой или стеклокерамической пластиной (см. рис. 32, б). Поместите в воду навеску предварительно растертой в ступке соли и нагрейте раствор почти до кипения при перемешивании стеклянной палочкой.

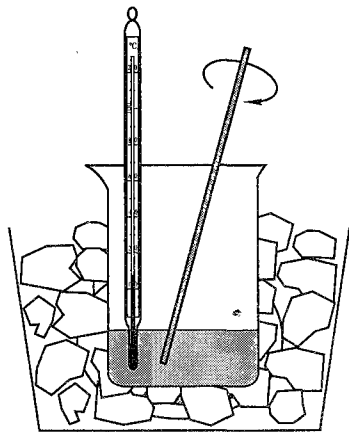


Рис. 44. Охлаждение раствора в бане со льдом и водой

Полученный горячий раствор профильтруйте через складчатый фильтр, используя воронку для горячего фильтрования (см. рис. 35).

Предлагаются следующие методики перекристаллизации.

Перекристаллизация без удаления растворителя.

1. Для солей, растворимость которых сильно зависит от температуры, раствор после горячего фильтрования охладите сначала на воздухе, а затем в бане со льдом (и водой) почти до 0 °С (рис. 44) при непрерывном перемешивании. Температуру, до которой был охлажден раствор для кристаллизации, запишите в рабочий журнал.

2. Для очистки солей, растворимость которых мало зависит от температуры, можно использо-

зять метод высаливания. Для этого раствор соли после горячего фильтрования охладите до комнатной температуры и добавьте равный по объему раствор концентрированной соляной кислоты (*в вытяжном шкафу!*).

Перекристаллизация с удалением растворителя (упаривание раствора). Для солей, растворимость которых мало зависит от температуры, раствор перенесите во взвешенную фарфоровую чашку и упарьте на водяной бане (рис. 13, а) приблизительно до половины начального объема. Затем раствор охладите до комнатной температуры (запишите ее в рабочем журнале), чашку с раствором протрите снаружи от воды, взвесьте и найдите потерю массы растворителя.

Выпавшие кристаллы отфильтруйте под уменьшенным давлением на воронке Бюхнера с бумажным фильтром или на воронке со стеклянным фильтрующим дном (стеклянный фильтр) и промойте минимальным (соизмеримым с объемом соли) количеством охлажденной дистиллированной воды. Фильтрат сохраните.

Выбор фильтра (стеклянный или бумажный фильтры) и его пористость определяется количеством вещества, агрессивностью фильтруемого раствора по отношению к материалу фильтра и размером частиц (см. подразд. 4.2).

Растворите в пробирке с 1—2 мл дистиллированной воды несколько кристалликов полученного вещества и добавьте одну—две капли раствора нитрата серебра для определения примеси хлоридов, или раствора хлорида бария для определения примеси сульфатов. При определении примесей сульфатов в дихромате калия в исследуемый раствор добавьте концентрированной соляной кислоты.

Аналогично проанализируйте фильтрат на присутствие в нем примесей хлоридов или сульфатов. Если кристаллы все еще содержат примеси, проведите повторную перекристаллизацию. Для этого взвесьте полученное вещество, рассчитайте количество воды, необходимое для приготовления насыщенного при 60 °С раствора, проведите все операции, как и в первый раз, кроме горячего фильтрования.

Перекристаллизованное вещество, за исключением кристаллогидратов и хлорида аммония, поместите в сушильный шкаф и сушите при 60 °С до постоянной массы. Для контроля полноты высушивания рекомендуется каждые 15—20 мин вынимать чашку с кристаллами из сушильного шкафа, охлаждать на воздухе или в эксикаторе и взвешивать. Если после повторного взвешивания масса кристаллов не изменилась, можно считать, что соль высушена.

Хлорид аммония и кристаллогидраты сушите на воздухе (см. подразд. 4.6) при комнатной температуре (кристаллы не должны прилипать к стеклянной палочке). Сухие соли поместите в герметичные бюксы минимального объема. Рассмотрите под микроскопом и зарисуйте форму полученных кристаллов.

С использованием таблиц растворимости и экспериментальных значений температуры кристаллизации рассчитайте теоретический выход в предположении отсутствия примесей. Рассчитайте практический выход в процентах от исходной навески и от теоретического выхода.

1. Почему раствор нагревают почти до кипения, хотя готовят насыщенным при температуре 60 °С?
2. От каких примесей происходит очистка при горячем фильтровании?
3. Почему при перекристаллизации происходит очистка от растворимых примесей?
4. Какие соли нельзя разделить методом перекристаллизации?

5. Каких потерь нельзя избежать в процессе перекристаллизации?
6. Почему при охлаждении раствора необходимо перемешивание?
7. Всегда ли нужно охлаждать раствор до возможно более низкой температуры? Почему?
8. Зачем упаривают раствор в случае солей с малой зависимостью растворимости от температуры?
9. Зачем добавляют кислоту при определении чистоты дихромата калия?
10. Почему выпадают кристаллы при высаливании?

Очистка летучих твердых веществ методом сублимации

На дно низкого стакана *1* без носика положите 1,0 г кристаллического иода и 0,2 г иодида калия (рис. 45). Закройте стакан маленькой колбой *2* с отростком, заполненной холодной водой со льдом. Поместите стакан на асбестовую

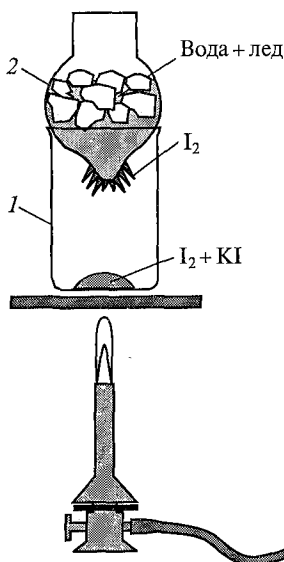


Рис. 45. Прибор для сублимации иода:
1 — стакан; 2 — колба

сетку и осторожно нагрейте его на горелке. Нагревание прекратите после возгонки всего иода, что можно заметить по исчезновению окрашенных паров иода в стаканчике. Кристаллы возогнанного иода поместите в бюкс и взвесьте. Рассмотрите форму кристаллов (без микроскопа!). Рассчитайте выход продукта в процентах от исходной навески иода.

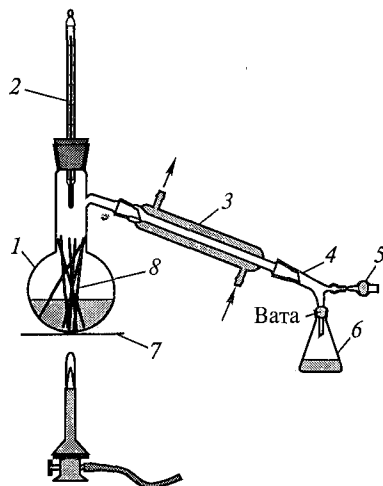
1. Какие вещества и от каких примесей можно очистить методом сублимации?
2. Зачем при очистке иода добавляют иодид калия?
3. Какого цвета пары иода?
4. Может ли существовать иод в виде жидкости при атмосферном давлении?

5.2. Очистка воды от растворенных в ней солей методом перегонки

Соберите прибор для перегонки (рис. 46). Установите термометр таким образом, чтобы ртутный шарик термометра находился на одном уровне с отвод-

Рис. 46. Прибор для перегонки воды:

— колба Вюрца; 2 — термометр; 3 — холодильник;
4 — аллонж; 5 — хлоркальциевая трубка с натронной
известью; 6 — колба-приемник; 7 — асбестовая сетка
или песчаная баня; 8 — капилляры



ной трубкой из колбы или несколько ниже ее. Приготовьте 10—15 стеклянных капилляров длиной, несколько превышающей диаметр колбы, запаянных с одного конца, и поместите в колбу для перегонки незапаянным концом вниз.

Определите плотность исходного раствора (см. подразд. 4.8), содержащего примеси сульфата меди или хлорида натрия, его температуру, рН (см. подразд. 8.2) и электропроводность (см. подразд. 8.1).

Очищаемую воду налейте в перегонную колбу Вюрца 1; объем жидкости при этом не должен превышать 150 мл и занимать не более половины объема колбы. Заполните холодильник 3 проточной водой, причем вода должна поступать снизу вверх.

Нагрейте раствор в колбе до кипения горелкой через асбестовую сетку или стеклокерамическую пластину (колбонагревателем или на песчаной бане). Перегонку ведите с такой скоростью, чтобы на кончике ртутного шарика термометра 2 все время находилась капля жидкости (но не капала). Обычно скорость перегонки составляет одну—две капли в секунду на выходе из холодильника. После того как в колбе-приемнике 6 соберется около 5 мл воды, поменяйте приемник. Перегонку можно закончить, когда в приемнике соберется жидкость в количестве, достаточном для определения ее плотности, измерения электропроводности и рН.

Запишите в рабочем журнале температуру конденсации воды на ртутном шарике термометра, соответствующую температуре кипения очищенной воды ($T_{\text{кип}}$) с указанием величины атмосферного давления. Перегнанную воду охладите до комнатной температуры и подтвердите химическим путем отсутствие в ней исходной соли. Измерьте температуру воды и определите плотность, рН и электропроводность очищенной воды для данной температуры. Что и как изменилось по сравнению с исходным раствором? Сравните полученные результаты со справочными данными для чистой воды и сделайте вывод о степени очистки воды таким методом.

1. Равна ли температура кипения раствора в колбе показанию термометра?
2. Зачем используются капилляры?

3. От каких примесей нельзя очистить воду простой перегонкой?
4. Является ли температура конденсации характеристикой чистоты вещества? От какого параметра зависит $T_{\text{кип}}$ чистой жидкости?

5.3. Очистка и разделение жидкостей методом фракционной перегонки

Соберите в вытяжном шкафу прибор для фракционной перегонки жидкости с дефлегматором в соответствии с правилами, сформулированными в подразд. 3.5 (рис. 47). В качестве приемника *б* используйте небольшой мерный цилиндр емкостью 25 мл. Поместите в колбу *1* для перегонки 8—12 стеклянных капилляров *8*, запаянных с одного конца, как в опыте по перегонке воды (см. подразд. 5.2). Налейте в колбу соляную кислоту известной концентрации (~15%). Объем жидкости не должен превышать половины объема колбы. Подсоедините к колбе дефлегматор *2* с термометром *3* (ртутный шарик термометра должен находиться на одном уровне с отводом, ведущим к холодильнику *4*, или несколько ниже его). Заполните холодильник проточной водой так, чтобы вода поступала снизу вверх. Нагрейте колбу на песчаной бане *7* или колбонагревателем до кипения жидкости.

Отметьте температуру конденсации пара (на кончике термометра должна находиться капля жидкости). Скорость перегонки установите в пределах 1—2 капли в секунду. После отгонки первых 15 мл жидкости смените приемник *б*. После отгонки очередных 10—15 мл раствора меняйте приемник и отмечайте

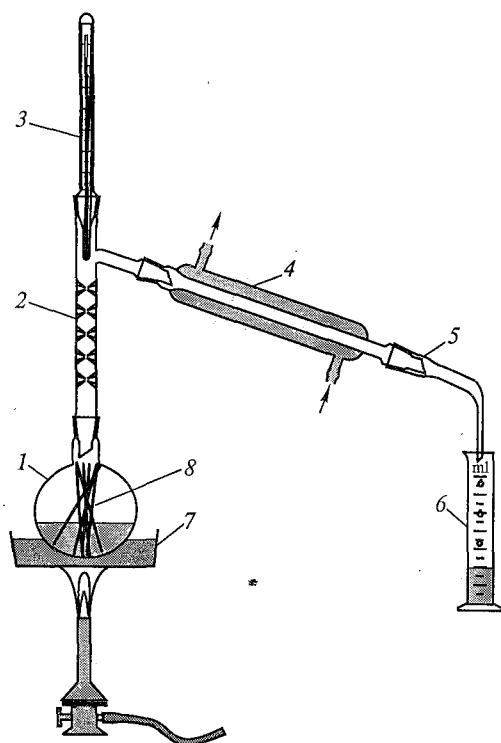


Рис. 47. Прибор для фракционной перегонки:

- 1 — колба перегонная; 2 — дефлегматор; 3 — термометр; 4 — холодильник прямой; 5 — адаплонж; 6 — приемник; 7 — баня песчаная; 8 — капилляры

в рабочем журнале температуру перегонки ($T_{\text{конд}}$). Рассчитайте среднюю для пробы температуру перегонки ($T_{\text{конд. ср}}$).

В ходе выполнения работы необходимо непрерывно определять состав поступающей в приемник кислоты, температуру ее конденсации и объем перегонной жидкости. Состав отгоняемой соляной кислоты можно определить по плотности (табл. П2.11) взвешиванием известного объема жидкости (см. подразд. 4.8) или титрованием стандартным раствором щелочи (см. подразд. 6.2).

Для определения плотности раствора кислоты весовым методом рекомендуется отбирать пипеткой Мора пробы по 10 мл и взвешивать с точностью до 0,1 г. При определении концентрации титриметрическим методом пробу раствора перенесите в мерную колбу емкостью 50 мл, доведите водой до метки и перемешайте (см. подразд. 3.3). По мере увеличения концентрации кислоты при перегонке отбирайте в мерную колбу все меньший объем кислоты (V_k) так, чтобы на титрование 10 мл разбавленного раствора кислоты ушло около 10 мл 0,1 н. раствора щелочи. Для отбора проб кислоты используйте пипетки Мора разной емкости или пипетки с делениями.

Определите концентрацию кислоты в мерной колбе (C_k , моль/л) методом титрования стандартным (0,1 н.) раствором щелочи (см. подразд. 6.2). Из полученных данных рассчитайте молярную и процентную концентрации отгоняемой кислоты. Полученные данные занесите в табл. 7.

После охлаждения перегонной колбы с раствором определите денсиметром или весовым методом плотность кислоты, оставшейся в колбе, и рассчитайте ее концентрацию. По результатам эксперимента постройте графические зависимости состава и температуры конденсации (средней для пробы) раствора кислоты от объема перегонной жидкости, а также зависимость температуры конденсации раствора (средней для пробы) от состава пробы конденсирующейся жидкости (часть фазовой диаграммы «вода—хлорид водорода»).

Сравните полученные результаты по составу азеотропа и его температуре кипения со справочными данными.

1. Равен ли состав пара над жидкостью ее составу?
2. Равна ли температура кипения раствора в колбе показанию термометра?
3. Зачем используется дефлегматор?
4. Постройте схематически $T-x$ диаграмму системы «вода—хлорид водорода». Какой линии на диаграмме отвечает график, полученный в результате этого эксперимента?

Таблица 7

Получение соляной кислоты азеотропного состава

Условия перегонки			Объем пробы, мл	Определение плотности		Титрование		Состав пробы конденсата	
$V_{\text{конд}}$, мл	$T_{\text{конд}}$, °C	$T_{\text{конд. ср}}$, °C		m пробы, г	ρ , г/см ³	$V_{\text{щел}}$, мл	C_k , моль/л	моль/л	масс. %
0									
15									
30									

5. Что такое азеотроп? Можно ли изменить его состав, и если да, то как?
 6. Смесь каких жидкостей нельзя разделить перегонкой?

ГЛАВА 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭКВИВАЛЕНТОВ

6.1. Определение химических эквивалентов металлов с использованием эвдиометра

В работе ставится задача определения эквивалента цинка (магния, железа, алюминия) с одновременным изучением кинетики гетерофазных реакций.

Соберите эвдиометр (рис. 48), состоящий из двух бюреток (1 и 2) емкостью 50—100 мл, соединенных резиновой трубкой 3. Сверху к бюретке 2 через тройник с краном 4 подсоединяется пробирка Оствальда 5.

При открытом кране 4 налейте в бюретки воду так, чтобы при вытеснении газом она не выливалась из прибора. Для этого бюретка 1 должна быть расположена выше бюретки 2. Присоедините пробирку Оствальда 5, закройте кран и проверьте прибор на герметичность. Для этого опустите бюретку 1. Если уровни воды в бюретках не выравниваются, а только немного изменяются, то прибор можно считать герметичным.

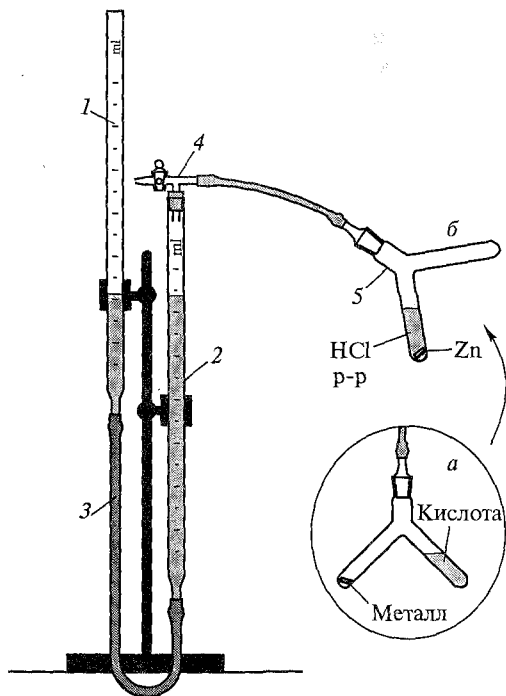


Рис. 48. Прибор для определения эквивалентов металлов:

1, 2 — бюретки; 3 — резиновая трубка; 4 — тройник с краном; 5 — пробирка Оствальда

Возьмите такое количество металлической проволоки или фольги, чтобы выделившийся газ после полного растворения металла занял объем не более 40—50 мл (рабочий объем бюретки 2). Металл взвесьте на аналитических весах с точностью $\pm 0,2$ мг. Определите геометрические размеры взятой фольги или проволоки и вычислите площадь поверхности металла (S , см²). Длину (ширину) можно определять линейкой, а толщину лучше измерять штангенциркулем.

Рассчитайте количество 20%-ной серной или соляной кислоты, необходимое для растворения металла. Поместите в одно колено пробирки Оствальда 5 металл, а в другое налейте раствор кислоты, взятой с 5—10-кратным избытком (а). Присоедините пробирку 5 к прибору, закройте кран 4. вновь проверьте прибор на герметичность. Выровняйте уровни воды в бюретках и запишите в табл. 8 положение уровня воды в правой бюретке. По-

Определение скорости растворения металла

время, мин	H , мл	V , мл	$\Delta V/\Delta t$, мл/с	ν , моль/с	S , см ²	ν/S , моль/(с · см ²)
0						
0,5						
1						

Зерните пробирку Оствальда 5 таким образом, чтобы кислота перелилась в колбено с металлом (б).

Это делать надо осторожно, вдали от огня, так как водород в смеси с воздухом взрывоопасен.)

Для исследования кинетики гетерогенного взаимодействия кислоты с металлом проводите измерения объема выделяющегося водорода (V , мл) каждые 0,5—1 мин по изменению уровня воды H в правой бюретке. Для получения корректных результатов непрерывно выравнивайте уровни воды в левом и правом коленах эвдиометра в течение всего опыта смещением бюретки I вниз. Счет времени начните с момента смешения реактивов, результаты измерений внесите в табл. 8.

Из полученных данных рассчитайте скорость выделения водорода $\Delta V/\Delta t$, скорость растворения металла ν и удельную скорость растворения металла в расчете на единицу площади его поверхности ν/S для каждого из интервалов

Определение химического эквивалента металла

Данные опыта	Опыт	
	№ 1	№ 2
Масса металла, г		
Атмосферное давление, мм рт. ст.		
Температура, °С		
Давление водяного пара, мм рт. ст.*		
Уровень воды в бюретке 2 до начала реакции, мл		
Уровень воды в бюретке 2 по окончании реакции, мл		
Объем выделившегося водорода, мл		
Химический эквивалент металла		
Среднее значение эквивалента металла		
Справочное значение эквивалента металла		
Расхождение со справочными данными, %		

* См. табл. П2.5.

времени Δt . При расчете v/S учтите уменьшение площади поверхности металла по мере его растворения, предполагая, что металл растворяется равномерно по всем направлениям. Количество растворившегося металла рассчитывайте по объему выделившегося водорода.

После растворения всего металла и охлаждения пробирки Оствальда до комнатной температуры отметьте уровень воды в правом колене прибора и определите общий объем выделившегося водорода. Данные запишите в табл. 9, рассчитайте химический эквивалент металла и сравните его со справочной величиной. Опыт повторите до получения сходящегося результата.

По данным табл. 9 постройте графики зависимости скорости и удельной скорости растворения металла в кислоте от времени и объясните наблюдаемые закономерности.

1. Что такое химический эквивалент? Каковы способы его расчета и определения?
2. Зачем необходимо охлаждение прибора до комнатной температуры?
3. Каково парциальное давление водорода в приборе?

6.2. Приготовление растворов кислот и определение их химических эквивалентов методом титрования щелочью

Приготовьте в мерной колбе 100 мл 0,1 н. раствора серной, соляной или уксусной кислоты (один из растворов по выбору преподавателя), исходя из концентрированных растворов кислот. Для этого рассчитанное количество кислоты внесите в мерную колбу с 40—50 мл воды, доведите до метки и тщательно перемешайте (см. подразд. 3.3). Необходимый объем кислоты рассчитайте по ее плотности с использованием табл. П2.11.

Для точного определения концентрации растворов применяют метод титрования. К аликвоте исследуемого раствора кислоты, взятого пипеткой Мора, добавляют из бюретки раствор щелочи известной концентрации (стандартный раствор) до нейтрализации. Момент нейтрализации устанавливают по изменению окраски индикатора (фенолфталеин, метилрот, метилоранж).

Стандартные растворы хранят в бутылках 7 с присоединенными к ним бюретками (рис. 49). Для повышения точности отсчета при титровании используют бюретку 1, желательно с синей продольной полосой. При заполнении такой бюретки раствором на мениске жидкости наблюдается оптический эффект перекрещивания синей полосы вследствие различия коэффициентов преломления жидкости и воздуха. Это перекрестие и принимается за точку отсчета. Для определения уровня раствора в бюретке глаз наблюдателя и точка отсчета шкалы бюретки должны находиться на одной горизонтали.

Бюретку 1 вначале заполняют раствором немного выше деления, принятого за начало отсчета, а затем избыток жидкости сливают в стаканчик 3. Для этого большим и указательным пальцами руки сжимают и немного оттягивают (прищипывают) эластичную трубку на клапане-бусинке 2. При этом необходимо следить, чтобы в носике бюретки не было пузырьков воздуха, сильно влияющих на точность измерений. При наличии пузырьков воздуха в носике бюретки их необходимо вначале удалить и лишь затем приступить к титрованию.

Для выполнения работы отмерьте пипеткой Мора 2 (рис. 50) в три конические колбы 4 (см. рис. 49) емкостью 100 мл по 10 мл приготовленных растворов:

Рис. 49. Бюретка для титрования:
 1 — бюретка; 2 — клапан-бусинка; 3 — стаканчик; 4 — конические колбы; 5 — промывалка с водой; 6 — кран; 7 — бутылка с раствором; 8 — хлоркальциевая трубка с натронной известью

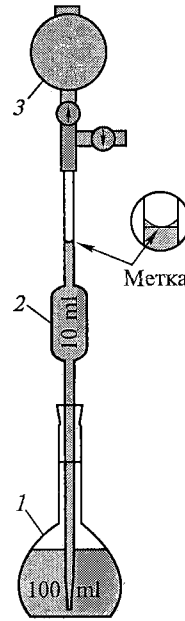
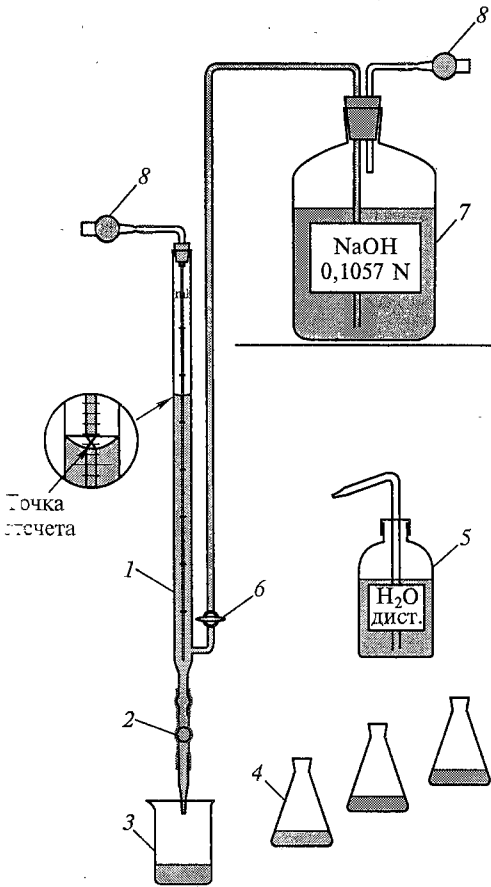


Рис. 50. Отбор пробы раствора мерной пипеткой:
 1 — колба мерная; 2 — пипетка Мора; 3 — пипетатор (груша)

кислот, добавьте 20 мл воды и две — три капли фенолфталеина. Пользуясь промывалкой 5 с дистиллированной водой (см. рис. 49), смойте капли раствора кислоты со стенок конической колбы и проведите титрование.

При титровании щелочь из бюретки прибавляйте к кислоте по каплям, непрерывно перемешивая раствор; для этого колбу нужно держать за горлышко пальцами одной руки, а клапан-бусинку 2 бюретки 1 (см. рис. 49) открывать другой рукой. Окончание титрования определяется по появлению едва заметной, не исчезающей в течение 30 с малиновой окраски фенолфталеина или по изменению цвета другого индикатора (метилрота, метилоранжа).

Отметьте показания бюретки с точностью до 0,02 мл и добавьте еще одну каплю раствора щелочи. Появление вполне заметной окраски раствора указывает, что последняя капля была избыточной.

Снова заполните бюретку раствором щелочи до начального деления и повторите титрование кислоты, находящейся во второй, а затем третьей колбах.

Определение концентрации кислоты методом титрования

Кислота	Опыт	Объем раствора, мл		Концентрация, н.	
		кислоты	щелочи	щелочи	кислоты
	№ 1	10			
	№ 2	10			
	№ 3	10			
Средний объем щелочи, мл:					

Допустимое расхождение между измерениями 0,05 мл. Рекомендуется следующий порядок записи в рабочем журнале (табл. 10).

Из полученных данных рассчитайте нормальность приготовленной кислоты. Напишите уравнение реакции нейтрализации в молекулярной и сокращенной ионной формах.

1. В чем заключается сущность процесса нейтрализации?
2. Как можно установить нейтральность среды?
3. При какой концентрации водородных ионов реакция раствора при 25 °С нейтральна?
4. Каковы интервалы рН перехода окраски фенолфталеина, метилроta и метилоранжа?
5. Что называется ионным произведением воды? Чему равно ионное произведение воды при 25 °С?
6. Что такое «нормальность» раствора?
7. В каких объемных соотношениях будет реагировать щелочь с кислотой при одинаковой нормальности их растворов?
8. Чему равны химические эквиваленты гидроксида натрия, соляной, уксусной и серной кислот?
9. Почему титруют кислоту щелочью, а не наоборот?
10. Почему титруют в колбах, а не в стаканах?

ГЛАВА 7

ТЕПЛОВЫЕ ЭФФЕКТЫ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ. ХИМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ. РАСТВОРЫ

7.1. Тепловые эффекты химических реакций

Приготовьте в мерных колбах по 100 мл 0,1 н. растворов соляной кислоты (см. подразд. 6.2) и гидроксида натрия (см. подразд. 3.3). В качестве исходного реагента для приготовления раствора гидроксида натрия используйте гранулированную щелочь (*в защитных перчатках и очках!*). Концентрации полученных растворов уточните титриметрически (см. подразд. 6.2). Перед титрованием 0,1 н. раствором кислоты или щелочи разбавьте исходные 1 н. растворы в 10 раз.

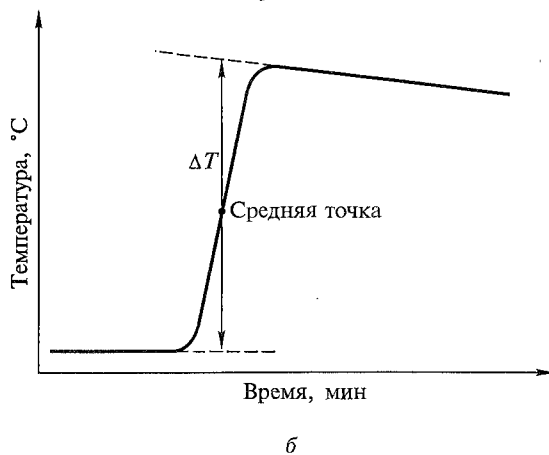
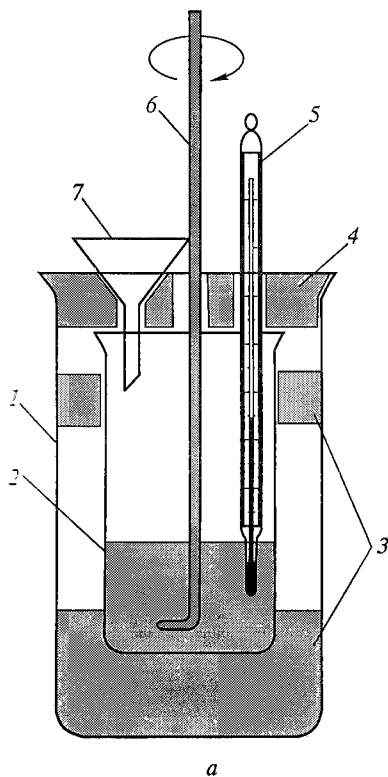


Рис. 51. Калориметр:

a — общий вид; *б* — определение скачка температуры ΔT ; 1, 2 — наружный и внутренний стаканы; 3 — пенопласт; 4 — крышка; 5 — термометр; 6 — мешалка; 7 — воронка

Работа выполняется на простейшем калориметре (рис. 51, *a*). Перед проведением калориметрического эксперимента определите массу внутреннего стакана 2. Исходные растворы для калориметрии взвешивайте с точностью $\pm 0,1$ г. Для измерения температуры раствора в калориметре используйте термометр с ценой деления не менее $0,1$ °С. Проведите два опыта, отличающиеся порядком смешения реагентов.

1. В сухой взвешенный внутренний стакан 2 простейшего калориметра (рис. 51, *a*) налейте 30 г 1,0 н. раствора гидроксида натрия и определите его температуру с точностью $\pm 0,1$ °С. Быстро добавьте 20 г 1,0 н. раствора соляной кислоты и определите как можно точнее скачок температуры ΔT (рис. 51, *б*).

2. Повторите эксперимент, изменив порядок смешения реагентов. Для этого в сухой внутренний стакан калориметра налейте 30 г 1,0 н. раствора соляной кислоты, быстро добавьте 20 г 1,0 н. раствора гидроксида натрия и определите скачок температуры ΔT .

Оцените тепловой эффект реакции нейтрализации Q в предположении, что теплоемкость c_p водного раствора массой m_1 равна 4,18 Дж/г, а теплоемкость стекла $c_p = 0,75$ Дж/г. Массу участвующей в теплообмене части стакана m_2 определите из геометрических размеров стакана и уровня жидкости в калориметре, предполагая, что стенки и дно стакана имеют одинаковую толщину. Тогда $Q = \Delta T(c_{p_1}m_1 + c_{p_2}m_2)$.

Определение теплоты нейтрализации

Опыт	Раствор NaOH		Раствор HCl		Масса стекла стакана, участвующего в теплообмене, г	ΔT , °C	Q, Дж	Теплота нейтрализации ΔH°_1 , Дж/моль
	m, г	C, моль/л	m, г	C, моль/л				
№ 1	30		20					
№ 2	20		30					
Среднее значение теплоты нейтрализации								
Теплота нейтрализации по справочным данным								
Расхождение, %								

Полученные результаты занесите в табл. 11 и рассчитайте среднее значение энтальпии нейтрализации в расчете на 1 моль кислоты или щелочи. С использованием справочных данных рассчитайте теоретическую величину теплоты нейтрализации и сравните с полученным значением.

Одинаковы ли теплоты нейтрализации 1 н. раствора гидроксида натрия и 1 н. растворов соляной, серной и уксусной кислот? Если нет, то почему?

7.2. Химическое равновесие

Взаимодействие хлорида железа(III) с роданидом аммония. Налейте в стакан 10 мл воды и добавьте по каплям примерно равные объемы растворов хлорида железа(III) и роданида аммония, так чтобы окраска воды стала розовой. Разлейте полученный раствор в пять пробирок по 1—2 мл. Оставьте одну пробирку в качестве эталона. Во вторую добавьте две-три капли раствора хлорида железа(III), в третью — раствора роданида аммония, в четвертую — избыток сухого хлорида аммония, а в пятую — один кристалл сухого фторида аммония. Содержимое пробирок перемешайте и отметьте изменение окраски.

1. Объясните наблюдаемые явления, используя выражение константы равновесия.
2. Изменится ли положение равновесия при разбавлении раствора?

Исследование равновесия хромат — дихромат. Налейте в две пробирки по 2—3 мл раствора дихромата калия. В первую пробирку добавьте несколько капель 1 н. раствора щелочи. Что наблюдаете? Затем в ту же пробирку добавьте несколько капель 1 н. раствора соляной кислоты. Что изменилось?

Во вторую пробирку добавьте несколько миллилитров раствора хлорида бария. Добавьте к полученной смеси несколько капель азотной кислоты. Отметьте изменения.

1. Объясните наблюдаемые явления, используя выражение константы равновесия.
2. Какова растворимость хромата и дихромата бария?
3. Как изменится кислотность среды при добавлении хлорида бария к раствору дихромата калия?

7.3. Растворы

Пересыщенные растворы

Тиосульфат натрия. В сухую пробирку поместите кристаллы пентагидрата тиосульфата натрия (слой 2—3 см) и медленно нагрейте в стакане с горячей водой выше температуры плавления вещества. Опустите в полученный расплав термометр. Выньте пробирку из стакана с водой и дайте охладиться до комнатной температуры. Вращением термометра или внесением кристалла-затравки пентагидрата тиосульфата натрия инициируйте начало кристаллизации и каждые 15—30 с отмечайте температуру в пробирке. Постройте график зависимости температуры расплава от времени. (Аналогичный эксперимент может быть выполнен с тригидратом ацетата натрия.)

До какого предельного значения повышается температура? Для объяснения наблюдаемых явлений ознакомьтесь с данными по растворимости тиосульфата натрия.

Сульфат меди. Рассчитайте, сколько граммов пентагидрата сульфата меди надо растворить в 10 мл воды, чтобы получить раствор, насыщенный при 60 °С (см. табл. П2.4). Полученный при нагревании раствор доведите почти до кипения и быстро профильтруйте через складчатый фильтр на воронке для горячего фильтрования. Если в фильтрате образовались кристаллы, их необходимо растворить осторожным нагреванием. Раствор охладите до комнатной температуры и внесите маленький кристаллик исходной соли.

Что наблюдаете? Изменяется ли температура раствора?

Нагрейте пробирку с содержимым так, чтобы снова получить прозрачный раствор, осторожно охладите его и потрите стеклянной палочкой внутреннюю стенку пробирки под раствором.

Объясните причину выпадения кристаллов. Дайте определение насыщенного, ненасыщенного и пересыщенного растворов.

Сульфат кальция. К 50 мл воды прибавьте 2 г полуводного сульфата кальция. Смесь перемешайте и профильтруйте через бумажный фильтр. В две пробирки налейте по 5 мл профильтрованного раствора: в одну внесите кристаллик полуводного сульфата кальция, во вторую — кристаллик дигидрата сульфата кальция. Что происходит? Нагрейте раствор до кипения. Что наблюдаете?

Для интерпретации результатов ознакомьтесь с данными по растворимости кристаллогидратов сульфата кальция.

Определение растворимости веществ в воде

Для выполнения задачи используются соли, очищенные перекристаллизацией из раствора (см. подразд. 5.1), за исключением разлагающихся при нагревании.

Рассчитайте, пользуясь таблицей растворимости, количество соли, необходимое для приготовления 20—30 г насыщенного при комнатной температуре водного раствора, и возьмите с избытком. При нехватке перекристаллизованной соли количество раствора можно пропорционально уменьшить.

Навеску соли поместите в плоскодонную колбу и прилейте дистиллированную воду. Закройте колбу пробкой и перемешивайте содержимое 10—15 мин.

Определение растворимости солей

Результаты измерений	Опыт	
	№ 1	№ 2
1. Температура насыщенного раствора, °С		
2. Объем раствора, мл		
3. Масса чашки для упаривания, г		
4. Масса раствора, г		
5. Масса растворенного вещества, г		
6. Плотность раствора, г/см ³		
7. Концентрация раствора:		
а) г/100 г Н ₂ О		
б) процентная концентрация, г/100 г раствора (масс.%)		
в) г/л раствора		
г) молярность, моль/л раствора		
д) моляльность, моль/кг раствора		
е) мольная доля		
Справочные данные, г/100 г раствора		
Расхождение со справочными данными, %		

Затем колбу поместите в водяную баню с водой при комнатной температуре и выдержите около 10 мин для оттаивания и выравнивания температур воды и раствора. Перед отбором пробы измерьте температуру раствора (или воды). Предлагается два способа определения содержания соли в растворе — весовой (гравиметрический) и объемный (титриметрический).

Весовой метод. В две сухие взвешенные с точностью $\pm 0,01$ г фарфоровые чашки отберите мерной пипеткой 5—10 мл исследуемого раствора (без кристаллов!). Пипетку предварительно промойте 2—3 раза небольшим количеством исследуемого раствора. Взвесьте чашки с раствором ($\pm 0,01$ г) и упарьте растворы досуха на водяной (паровой) бане (см. подразд. 2.3), затем чашки с веществом поместите в сушильный шкаф и сушите при 60 °С до постоянной массы $\pm 0,01$ г. Результаты взвешиваний занесите в табл. 12 и рассчитайте концентрацию соли в растворе.

Объемный метод. Отберите мерной пипеткой рассчитанный объем пробы раствора дихромата калия в мерную колбу емкостью 50 мл, доведите дистиллированной водой до метки и перемешайте (см. подразд. 3.3). Концентрацию дихромата калия определите методом иодометрического титрования (см. подразд. 31.4). Объем пробы исходного неразбавленного раствора должен быть таким, чтобы на титрование разбавленного раствора ушел эквивалентный объем 0,05 н. раствора тиосульфата натрия. Значение плотности раствора, необходимое для перевода полученного значения концентрации в другие единицы (см. табл. 12), определите методом взвешивания (см. подразд. 4.8).

Рассчитайте концентрацию полученного раствора в: а) г/100 г воды; б) г/100 г раствора (масс.%); в) г/л раствора; г) моль/л раствора; д) моль/кг раствора; е) мольную долю. Сравните полученные величины со справочными данными.

ГЛАВА 8

ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКАЯ ДИССОЦИАЦИЯ

8.1. Электропроводность растворов

Зависимость электропроводности раствора электролита от свойств растворителя

В сухие стаканы емкостью 100 мл налейте по 30—50 мл 0,1 М водного и спиртового раствора безводного нитрата кальция. Используя кондуктометр (рис. 52), определите электропроводность растворов. Измерения удобнее начинать со спиртового раствора, используя сухой кондуктометр. Перед измерением водного раствора погружаемую часть кондуктометра многократно промойте водой и осушите фильтровальной бумагой.

Чем определяются разные электропроводности водного и спиртового растворов одного и того же вещества при одинаковой их концентрации? Что называется диэлектрической постоянной?

Определение электропроводности растворов кислот и оснований одинаковой нормальности

Налейте в пять стаканов емкостью 100 мл по 30—50 мл 0,1 н. растворов соляной, серной, уксусной кислоты и растворов гидроксида натрия и аммиака. Кондуктометром (см. рис. 52) измерьте электропроводность этих растворов. (После каждого измерения тщательно промывайте и осушайте погружаемую часть кондуктометра.) На основании полученных результатов расположите кислоты и основания в ряд их активности.

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

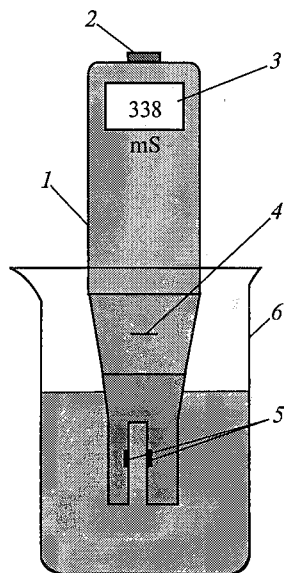


Рис. 52. Кондуктометр: 1 — корпус прибора; 2 — выключатель; 3 — дисплей; 4 — метка предельного погружения; 5 — электроды; 6 — стакан

8.2. Зависимость pH растворов кислот и оснований от концентрации и температуры

Определение pH растворов основано на измерении э.д.с. концентрационной ячейки (рис. 53). В качестве электрода сравнения *Г* используется хлорсе-

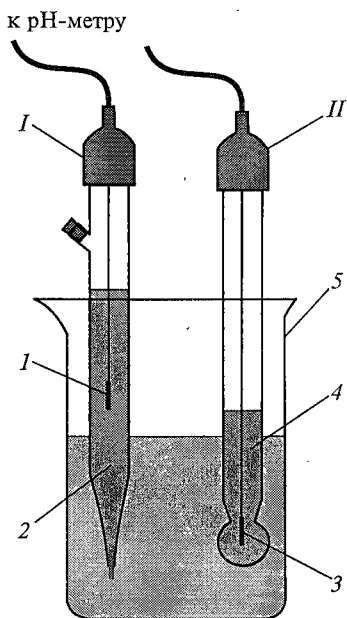


Рис. 53. Измерительная ячейка рН-метра:
 I — электрод сравнения; II — измерительный стеклянный электрод; 1, 3 — хлорсеребряные электроды; 2 — насыщенный раствор хлорида калия; 4 — стандартный раствор кислоты; 5 — стаканчик с анализируемым раствором

ребряный электрод *I*, находящийся в насыщенном растворе хлорида калия 2. В качестве измерительного электрода используется электрод из специального тонкого стекла *II* с находящимся внутри него хлорсеребряным электродом 3 в стандартном растворе кислоты 4. Э.д.с. такой ячейки возникает вследствие разности активностей ионов водорода в стеклянном электроде *II* и в испытуемом растворе 5.

Зависимость рН раствора сильного электролита (соляной кислоты) от концентрации

Приготовьте 0,1 М раствор соляной кислоты и определите его концентрацию методом титрования (см. подразд. 6.2), или возьмите раствор, полученный ранее в опыте подразд. 6.2. Перенесите мерной пипеткой пробу 10 мл 0,1 М 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 выполнения задачи потребуется серия из шести—семи растворов с уменьшающейся концентрацией.

Растворы перенесите в пронумерованные сухие стаканы и измерьте значения рН, начиная с раствора с минимальной концентрацией. Для этого вначале тщательно ополосните дистиллированной водой электроды рН-метра и осушите их фильтровальной бумагой. Опустите электроды в стакан с исследуемым раствором и дождитесь стабилизации показаний прибора. Затем определите рН другого раствора и т. д. Промывать электроды водой перед измерением рН более концентрированного раствора не надо. По завершении опыта промойте электроды водой и оставьте в стаканчике с дистиллированной водой. Результаты измерений занесите в табл. 13.

По экспериментальным данным постройте график зависимости рН раствора от $\lg C_{\text{HCl}}$. Сравните полученные значения рН с рассчитанными в приближе-

Зависимость pH раствора соляной кислоты от концентрации

Опыт	C_{HCl} , моль/л	$\lg C_{\text{HCl}}$	pH
№ 1			
№ 2			
№ 3			

При $a_{\text{H}_3\text{O}^+} = C_{\text{H}_3\text{O}^+}$ и предположении полной диссоциации раствора HCl на ионы без учета диссоциации воды ($\text{pH} = -\lg C_{\text{HCl}}$).

Для каких концентраций соляной кислоты наблюдается совпадение расчетных и экспериментальных данных? В чем причина расхождения экспериментальных и расчетных данных на некоторых участках графика. Напишите уравнение протолитического равновесия.

Зависимость pH растворов слабых кислот и оснований от концентрации

Зависимость pH раствора уксусной кислоты от концентрации. Приготовьте 0,1 М раствор уксусной кислоты и определите его концентрацию методом титрования или возьмите раствор, полученный ранее в опыте подразд. 6.2. Пробу 10 мл 0,1 М раствора перенесите мерной пипеткой в мерную колбу емкостью 50 мл. Доведите дистиллированной водой объем раствора до метки. Полученный таким образом 0,02 М раствор кислоты в свою очередь разбавьте в 5 раз и т.д. Для работы потребуется четыре — пять таких растворов.

Растворы перенесите в пронумерованные сухие стаканы и измерьте pH растворов (см. подразд. 8.2), начиная с раствора минимальной концентрации. Результаты измерений занесите в табл. 14.

Из полученных значений pH рассчитайте концентрацию водородных ионов $C_{\text{H}_3\text{O}^+}$, степень диссоциации α и константу диссоциации K_a уксусной кислоты для каждого раствора в приближении равенства активностей участвующих в равновесии соединений и ионов их концентрациям ($a_{\text{CH}_3\text{COOH}} = C_{\text{CH}_3\text{COOH}}$, $a_{\text{CH}_3\text{COO}^-} = C_{\text{CH}_3\text{COO}^-}$, $a_{\text{H}_3\text{O}^+} = C_{\text{H}_3\text{O}^+}$). Результаты расчетов внесите в табл. 14. Сравните полученное значение константы диссоциации уксусной кислоты (K_a) со справочной величиной. Для каких значений концентраций кислоты

Зависимость pH и степени диссоциации раствора уксусной кислоты от концентрации

Опыт	$C_{\text{CH}_3\text{COOH}}$, моль/л	$\lg C_{\text{CH}_3\text{COOH}}$	pH	Расчет			
				$C_{\text{H}_3\text{O}^+}$, моль/л	α	K_a	$\text{p}K_a$
№ 1							
№ 2							

применим расчет K_a с использованием концентраций вместо активностей? При каких концентрациях уксусную кислоту можно считать слабым электролитом, а при каких сильным? Напишите уравнение протолитического равновесия.

Зависимость рН раствора аммиака от концентрации. Приготовьте 1,0 М раствор аммиака из концентрированного раствора (см. подразд. 3.3), точную концентрацию полученного раствора определите титрованием разбавленного в 10 раз раствора стандартным раствором соляной кислоты (0,1 н.) с использованием метилоранжа в качестве индикатора. Разбавлением 1,0 М раствора аммиака получите серию растворов меньшей концентрации и проведите измерения рН описанным выше способом на примере уксусной кислоты.

Из полученных значений рН рассчитайте концентрацию гидроксид-ионов S_{OH^-} , степень диссоциации α и константу диссоциации K_b раствора аммиака для каждого раствора в приближении равенства активностей участвующих в равновесии соединений и ионов их концентрациям. Результаты расчетов внесите в табл. 14. Сравните полученное значение константы диссоциации водного раствора (K_b) со справочной величиной. Для каких значений концентраций раствора аммиака применим расчет K_b с использованием концентраций вместо активностей? При каких концентрациях раствор аммиака можно считать слабым электролитом, а при каких сильным? Напишите уравнение протолитического равновесия.

8.3. Сравнение силы кислот и оснований

Изменение концентрации водородных ионов

1. Налейте в две пробирки по 5 мл 1 М растворов соляной и уксусной кислот и внесите в них одновременно по одинаковому числу гранул цинка. Отметьте интенсивность выделения водорода. Через 1—2 мин в пробирку с соляной кислотой и цинком добавьте немного твердого ацетата натрия. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Объясните изменение скорости выделения водорода.

2. Налейте в три пробирки по 3 мл 0,1 М растворов гидроксида натрия, аммиака и 0,1 М раствора аммиака, насыщенного хлоридом аммония. Во все пробирки прилейте по 2 мл раствора хлорида магния. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Почему в одном случае осадок не образуется? Объясните наблюдаемое явление на основании изменения концентрации гидроксид-ионов.

3. Пользуясь универсальным индикатором, определите значения рН дистиллированной воды и 0,1 н. растворов фосфорной, уксусной кислот и раствора аммиака. Определите, будут ли изменяться значения рН растворов при добавлении сухих солей: ортофосфата натрия к раствору ортофосфорной кислоты, ацетата натрия к раствору уксусной кислоты и хлорида аммония к раствору аммиака. Напишите уравнения протолитических равновесий.

Объясните наблюдаемые явления. Что такое буферные растворы?

Гидролиз солей

Определение рН раствора при гидролизе. На стеклянную пластинку положите полоски бумаги с универсальным индикатором и смочите одну из них раствором карбоната натрия. Сравните окраску индикаторной бумаги с эталонной шкалой и определите рН раствора карбоната натрия. Прделайте аналогичные опыты с растворами хлорида алюминия и хлорида натрия. Напишите уравнения реакций гидролиза.

Объясните, почему при растворении некоторых солей в воде нарушается равенство концентраций водородных и гидроксидных ионов.

Взаимоусиливающийся гидролиз. Налейте в пробирку 2—3 мл раствора сульфата меди и по каплям добавьте раствор карбоната натрия. Отметьте окраску образующегося осадка. Какой газ может выделяться в этой реакции?

В пробирку налейте 2—3 мл раствора карбоната натрия и по каплям добавляйте раствор сульфата меди. Отметьте окраску образующегося осадка. Выделяется ли газ в этом случае? Напишите уравнения реакций.

Объясните разные взаимодействия сульфата меди и карбоната натрия в этих двух опытах.

8.4. Производство растворимости

Осаждение труднорастворимых солей

Налейте в три пробирки по 2—3 мл растворов хлоридов бария, стронция и кальция. В первую пробирку прилейте раствор сульфата натрия, во вторую — насыщенный раствор сульфата кальция и в третью — насыщенный раствор сульфата стронция. Напишите уравнения реакций.

Объясните образование осадков, пользуясь понятием произведения растворимости. В каких случаях при сливании растворов солей не образуется осадок?

Растворение труднорастворимых солей

Получите в пробирках осадки карбоната кальция и оксалата кальция. Декантируйте растворы и к влажным осадкам прилейте раствор уксусной кислоты. Что при этом происходит? Повторите опыт, заменив уксусную кислоту на соляную. Напишите уравнения реакций.

Объясните полученные результаты на основании сравнения констант диссоциации кислот и произведения растворимости.

8.5. Электрохимический потенциал пары металл—гидратированный ион

Определение электрохимического потенциала пары металл—гидратированный ион основано на измерении электродвижущей силы (э.д.с.) электрохимической ячейки с активным металлическим электродом (рис. 54).

На металлическом электроде протекает обратимая полуреакция $M^{n+} + ne = M$. Разность потенциалов измеряют относительно хлорсеребряного электрода

К измерительному прибору

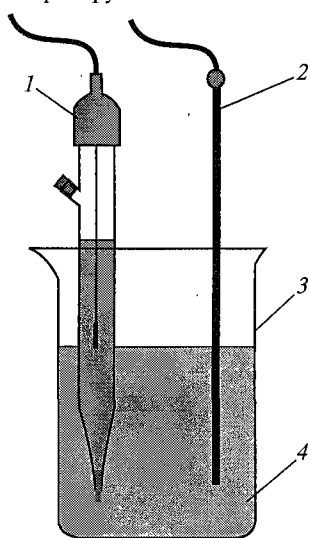


Рис. 54. Электрохимическая ячейка с активным металлическим электродом:

1 — электрод сравнения; 2 — активный электрод; 3 — стакан; 4 — исследуемый раствор

сравнения, поправка к измеряемой величине (относительно водородного электрода) составляет +0,2224 В при 25 °С.

Электродвижущую силу электрохимической ячейки рекомендуется измерять потенциометром или комбинированным прибором рН-метр-потенциометром.

Для выполнения работы соберите электрохимическую ячейку (рис. 54), состоящую из стакана 3 с исследуемым раствором 4, хлорсеребряного электрода сравнения 1 и активного металлического электрода 2 по следующей схеме: $\text{Ag}|\text{AgCl}(\text{тв}), \text{KCl}(\text{нас.})||\text{M}^{n+}, \text{M}$. В качестве материала электрода возьмите медь или цинк ($\text{M} = \text{Cu}, \text{Zn}; n = 2$).

1. Приготовьте в мерной колбе емкостью 50 мл 1 М растворы солей меди(II) или цинка и перелейте в электрохимическую ячейку. Измерьте электрохимические потенциалы пар медь — гидратированный ион меди и цинк — гидратированный ион цинка относительно хлорсеребряного электрода и пересчитайте на потенциал относительно водородного электрода. Полученные значения электрохимических потенциалов сравните со справочными. Имеется ли расхождение со справочными данными и, если имеется, то в какую сторону и почему?

2. Отберите мерной пипеткой 5 мл одного из растворов и методом последовательного десятикратного разбавления приготовьте серию из пяти растворов уменьшающейся концентрации. Измерения проводите в последовательности увеличения концентрации растворов. Полученные данные занесите в табл. 15.

Постройте график зависимости потенциала E , рассчитанного относительно водородного электрода, от логарифма концентрации раствора $\ln C$. Является ли полученная зависимость линейной? При каких концентрациях наблюдается отклонение от линейного закона? Определите из графика стандартный электродный потенциал исследуемой электрохимической пары. Для этого проведите линейную экстраполяцию зависимости E от $\lg C$ из области низких концентраций раствора, где справедливо приближение $a_{\text{M}^{2+}} = C_{\text{M}^{2+}}$,

Таблица 15

Зависимость электрохимического потенциала пары металл — гидратированный ион от концентрации растворенного вещества

Опыт	Концентрация раствора		Электрохимический потенциал, В, относительно электрода	
	C , моль/л	$\ln C$	хлорсеребряного	водородного
№ 1				
№ 2				

до концентрации 1 моль/л и сравните полученное значение E^0 со справочными данными. Определите тангенс угла наклона линейной зависимости E от $\ln C$. Соответствует ли его значение величине, рассчитанной из уравнения Нернста?

ГЛАВА 9

СКОРОСТЬ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ

9.1. Скорость гомогенных химических реакций

Влияние концентрации реагирующих веществ на скорость взаимодействия тиосульфата натрия с серной кислотой. Налейте в один стакан 10 мл 0,25 М раствора серной кислоты, а в другой — 10 мл 0,3 М раствора тиосульфата натрия и 30 мл воды (табл. 16, опыт № 1). Объемы растворов измеряйте как можно точнее.

Одновременно слейте растворы серной кислоты и тиосульфата натрия (рис. 55) и отметьте время, через которое раствор начнет мутнеть (появление опалесценции удобнее фиксировать на темном фоне при ярком боковом освещении). Сразу после появления мути раствор вылейте в банку под тягой и тщательно промойте стакан. Полученные результаты занесите в таблицу. Проведите опыты с увеличивающимися концентрациями тиосульфата натрия, изменив пропорции тиосульфата и воды при приготовлении раствора согласно табл. 16.

Постройте график зависимости $\lg(1/t)$ от логарифма концентрации тиосульфата натрия ($\lg C$) и из графика определите порядок реакции по тиосульфату натрия. Сделайте вывод о механизме реакции. Напишите ее уравнение.

Чем вызвано помутнение раствора? Как зависит скорость реакции от концентрации реагентов? Напишите кинетическое уравнение. Что такое порядок реакции?

Влияние температуры на скорость взаимодействия тиосульфата натрия с серной кислотой. Для определения температурной зависимости скорости реакции

Таблица 16

Определение зависимости скорости реакции от концентрации тиосульфата натрия

Опыт	Объем, мл				$C_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}$, моль/л	$\lg C$	t , с	$1/t$, с ⁻¹
	р-ра $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	воды	р-ра H_2SO_4	общий				
№ 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				

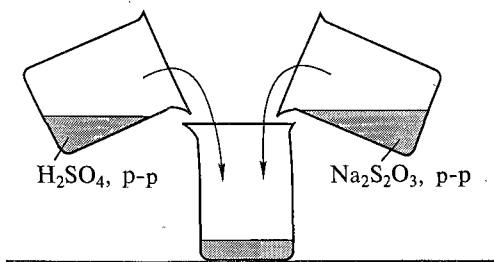


Рис. 55. Определение скорости взаимодействия тиосульфата натрия с серной кислотой

приготовьте 40 мл раствора тиосульфата натрия такой концентрации, для которой помутнение раствора после смешения с 0,25 М раствором серной кислоты происходит примерно через 60 с при комнатной температуре (см. предыдущий опыт). Для термостатирования растворов можно использовать стеклянный стакан с водой, нагреваемый на треноге горелкой через асбестовую сетку или стеклокерамическую пластину. Опыты проводите в пробирках, температуру раствора контролируйте термометром.

С помощью мерных пипеток отберите в две пробирки 1 мл раствора кислоты и 4 мл раствора тиосульфата натрия. Пробирки с растворами поместите в химический стакан с водой. Рядом с ними в том же стакане с водой закрепите в лапке штатива пустую пробирку. После стабилизации температуры растворов слейте их одновременно в пустую пробирку и определите время появления опалесценции раствора.

Для определения скорости реакции при температурах выше комнатной немного (на 5—10 °С) подогрейте горелкой через асбестовую сетку воду в стакане, оставьте горелку и выдержите 3—5 мин для выравнивания температур растворов и воды. Запишите температуру и зафиксируйте время появления опалесценции после смешения растворов. Опыты повторите при других температурах, для этого вновь немного подогрейте стакан с водой.

Для проведения опытов при температурах ниже комнатной добавьте в стакан небольшие кусочки льда. Всего рекомендуется провести шесть—семь экспериментов при разных температурах. Полученные результаты занесите в табл. 17.

Постройте график зависимости $\ln(1/t)$ от $1/T$ и из графика определите энергию активации реакции. Рассчитайте, во сколько раз должна возрасти скорость

Таблица 17

Исследование влияния температуры на скорость взаимодействия тиосульфата натрия с серной кислотой

Опыт	Температура р-ров		$1/T, K^{-1}$	t, c	$1/t$	$\ln(1/t)$
	$t, ^\circ C$	T, K				
№ 1	10					
№ 2	15					
...

**Влияние концентрации реагирующих веществ на скорость взаимодействия
иодата калия с сульфитом натрия**

Опыт	Объем, мл				C_{KIO_3} , моль/л	$\lg C$	t , с	$1/t$, с ⁻¹
	KIO_3	воды	р-ра Na_2SO_3	общий				
№ 1	20	—	20	40				
№ 2	15	5	20	40				
№ 3	10	10	20	40				
№ 4	5	15	20	40				

реакции для полученного значения энергии активации при увеличении температуры от 20 до 30 °С и от 30 до 40 °С.

Как влияет изменение температуры на скорость химической реакции? Выполняется ли в данном опыте правило Вант-Гоффа? Как зависит константа скорости от температуры? Напишите уравнение Аррениуса. Дайте определение энергии активации.

Влияние концентрации реагирующих веществ на скорость взаимодействия иодата калия с сульфитом натрия в сернокислой среде. Поместите в один стакан 20 мл раствора иодата калия, в другой — 20 мл раствора сульфита натрия, подкисленного серной кислотой и содержащего небольшое количество крахмала. Раствор иодата калия должен содержать 3,9 г иодата калия в 1 л раствора, а раствор сульфита натрия — 1 г сульфита натрия, 1 мл концентрированной серной кислоты и 0,1 г крахмала в 1 л раствора. Прилейте второй раствор к первому. Отметьте время появления окраски. Напишите уравнение реакции. Повторите опыт с уменьшенными концентрациями иодата калия, для чего разбавьте исходный раствор водой согласно рекомендациям табл. 18. Полученные результаты занесите в табл. 18.

Постройте график зависимости $\lg(1/t)$ от логарифма концентрации иодата калия ($\lg C$) и из графика определите порядок реакции по иодату калия.

9.2. Влияние катализатора на скорость химической реакции

Работу проводите в приборе, задействованном для определения эквивалентов металлов (см. рис. 48), используя бюретки емкостью 50 мл и большую пробирку Оствальда. В одно колено пробирки Оствальда поместите из мерной пипетки 8 мл 0,5 М раствора пероксида водорода и 10 мл воды, в другое колено — 5 мл 0,1 М раствора дихромата калия и 10 мл воды. Доведите уровень воды в измерительной бюретке 2 до нулевого значения, проверьте прибор на герметичность. Наклоните пробирку Оствальда, слейте растворы вместе в одно колено и начните отсчет времени. Каждые 30 с отмечайте объем выделившегося кислорода (V_t). Отметьте окраску раствора в процессе реакции и по ее завершении. Проведите 15—20 отсчетов. При значительном снижении скорости реакции можно немного нагреть пробирку Оствальда в теплой или горячей воде,

Разложение пероксида водорода в присутствии дихромата калия

Время, с	Показания бюретки, мл	Объем выделившегося кислорода V_t , мл	Степень превращения, $\alpha = V_t/V_k$

после полного разложения пероксида водорода охладите ее до комнатной температуры.

Вместо пробирки Оствальда можно использовать колбу с пробкой и резиновой трубкой, подсоединенной к крану 4. В этом случае растворы исходных реагентов перелейте в колбу, немедленно закройте пробкой и начните отсчет времени.

По объему выделившегося кислорода (V_k) рассчитайте концентрацию исходного пероксида водорода. Полученные данные занесите в табл. 19.

На основании полученных данных постройте кинетическую кривую, откладывая на оси абсцисс время, а на оси ординат — степень превращения.

Как зависит скорость выделения кислорода от времени?

РАЗДЕЛ III

ХИМИЯ ЭЛЕМЕНТОВ

ГЛАВА 10

ВОДОРОД

10.1. Проверка водорода на чистоту

(Наденьте очки или маску! Работа с водородом требует большой осторожности! Водород горюч и в смеси с кислородом или воздухом образует взрывчатую смесь в широком интервале концентраций. Все опыты с водородом проводите только в очках или маске под наблюдением преподавателя!)

Если водород необходимо нагреть в приборе или поджечь на выходе из него, вначале следует вытеснить из прибора воздух, а затем проверить водород на чистоту, т. е. убедиться в отсутствии в нем примеси кислорода.

Для проверки водорода на чистоту приготовьте две небольшие пробирки (рис. 56, а). Наденьте на газоотводную трубку 2 из пробирки 1 с гранулированным цинком и кислотой сухую пробирку 3, через 5—10 с медленно снимите ее и немедленно закройте отверстие пробирки большим пальцем. По-

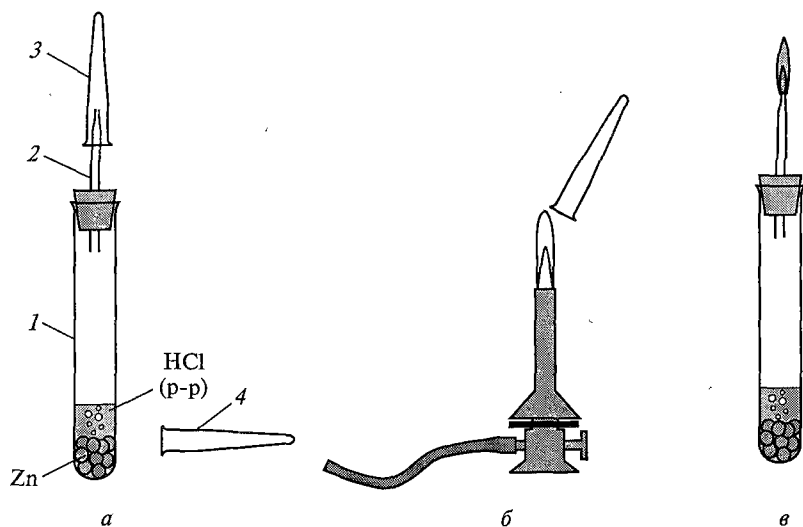


Рис. 56. Получение водорода и проверка его на чистоту:

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

ставьте на ее место вторую пробирку 4. Поднесите заполненную водородом пробирку 3, перевернутую вверх дном, к пламени горелки (рис. 56, б) и откройте ее в непосредственной близости от пламени (*горелку держите вдали от прибора с водородом!*). Если водород чистый, то он загорается со слабым глухим звуком «п-па», а если загрязнен кислородом, то взрывается или сгорает со звонким свистящим звуком. Проверку чистоты выделяющегося водорода проводите со сменой пробирок до тех пор, пока собранный газ не будет загораться без свистящего звука (минимум две пробы!).

(Только убедившись в чистоте выделяющегося водорода, можно с разрешения преподавателя поджечь его на выходе из газоотводной трубки прибора (рис. 56, в) и/или начать нагревание реакционной части прибора, заполненного водородом.

Для поджигания водорода не используйте газовую горелку!)

10.2. Получение водорода

(Наденьте очки или маску!)

Действие металла на кислоту. Поместите в пробирку пять—восемь кусочков гранулированного цинка, прилейте 5 мл 20%-ного раствора соляной или серной кислоты и закройте пробирку пробкой с оттянутой газоотводной трубкой (см. рис. 56, а). При использовании серной кислоты проверьте, как влияет на скорость выделения водорода добавление в реакционную смесь раствора сульфата меди, медных стружек или кристаллического хлорида натрия.

Проверьте водород на чистоту. Убедившись в чистоте выделяющегося водорода (под наблюдением преподавателя), подожгите его на выходе из газоотводной трубки.

Подержите над пламенем перевернутую холодную стеклянную воронку. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций. После завершения эксперимента погасите пламя (накройте пламя пробиркой для сбора водорода) и разберите прибор. Цинк промойте и сдайте лаборанту.

Действие алюминия на щелочь. (Опыт проводите в вытяжном шкафу, наденьте очки! Реакция может идти очень бурно! Заранее подготовьте стакан с холодной водой!). Очистите поверхность алюминия наждачной бумагой или скальпелем от оксидной пленки, разрежьте на кусочки и поместите в пробирку, прилейте 2—3 мл 20%-ного раствора гидроксида натрия. Если реакция долго не начинается или идет слишком медленно, подогрейте пробирку в стакане с теплой водой. Если реакция идет слишком бурно, то для замедления реакции рекомендуется охладить пробирку в стакане с холодной водой. После проверки водорода на чистоту подожгите его. Напишите уравнения реакций.

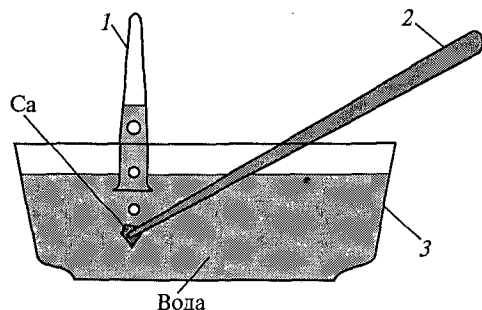


Рис. 57. Получение водорода действием металла на воду:

1 — пробирка; 2 — пинцет; 3 — кристаллизатор с водой

Действие металла на воду. Закройте большим пальцем заполненную водой пробирку 1, переверните ее и опустите в кристаллизатор 3 с водой (рис. 57). Подведите под пробирку при помощи пинцета 2 маленький кусочек кальция, завернутый в марлю. Заполните пробирку выделяющимся газом, закройте под водой большим пальцем и поднесите к пламени горелки. Что наблюдаете? Напишите уравнение реакции.

10.3. Восстановление водородом оксидов металлов

(Наденьте очки или маску!)

Для восстановления водородом рекомендуется использовать оксиды меди, свинца, висмута, кадмия.

Соберите прибор (рис. 58), состоящий из колбы Вюрца 1 с длинной воронкой 2, доходящей практически до дна колбы, и реакционной трубки 3, которую установите с небольшим наклоном в сторону выхода газа из прибора. Колбу Вюрца заполните примерно на четверть гранулированным цинком. В расширенную часть реакционной трубки внесите ~0,3 г оксида металла, взвешенного с точностью $\pm 0,01$ г. Реакционную трубку закройте пробкой с изогнутой вверх Г-образной трубкой с оттянутым кончиком 4, внутрь которой предварительно помещены кусочек медной сетки или полоска фольги, свернутая спиралью. Проверьте надежность всех соединений.

Налейте в колбу Вюрца 1 через воронку 2 немного 20%-ного раствора соляной или серной кислоты, чтобы конец воронки 2 погрузился в кислоту примерно на 10 мм. При использовании серной кислоты для ускорения реакции,

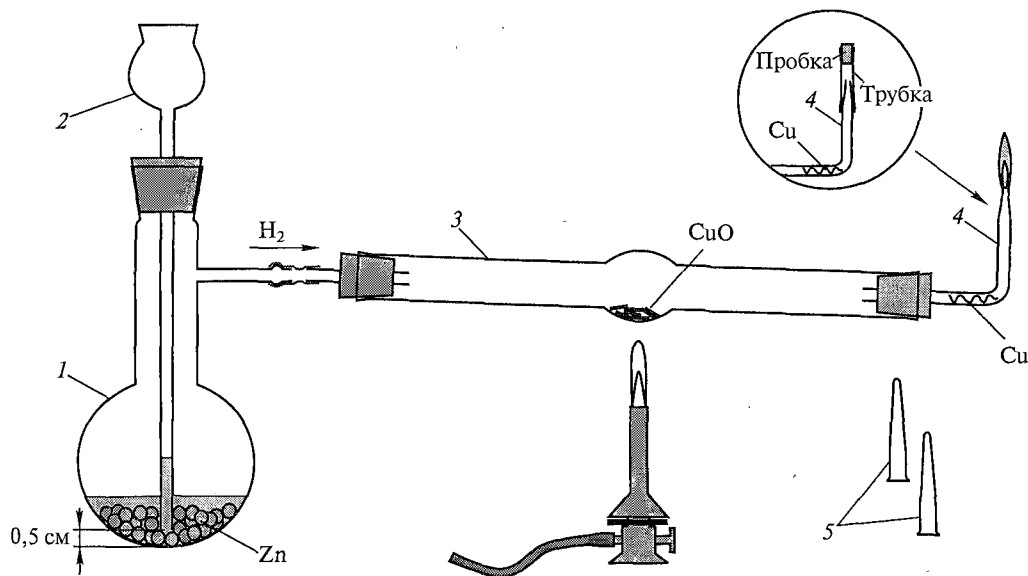


Рис. 58. Прибор для восстановления оксидов металлов водородом (проверка герметичности прибора):

1 — колба Вюрца; 2 — воронка; 3 — реакционная трубка; 4 — Г-образная трубка с оттянутым кончиком; 5 — пробирки

если необходимо, добавьте немного раствора сульфата меди. Проверьте прибор на герметичность. Для этого закройте выход из трубки 4 короткой резиновой трубкой с пробкой или с зажимом (см. рис. 58). Прибор герметичен, если кислота из колбы 1 поднимается по воронке 2.

Убедитесь в чистоте выделяющегося водорода (*под наблюдением преподавателя!*). Проверив чистоту водорода, подожгите его на выходе из газоотводной трубки 4 (см. рис. 58).

Осторожно прогрейте среднюю часть реакционной трубки в районе утолщения, а затем сильно нагрейте ту часть трубки, где находится оксид меди. Следите за тем, чтобы пламя горящего водорода сильно не уменьшалось, для этого своевременно добавляйте кислоту по мере ее расходования небольшими порциями в колбу Вюрца 1 через воронку 2. Если пламя погаснет, то немедленно прекратите нагревание, охладите прибор в токе водорода и лишь затем (*в присутствии преподавателя!*) вновь проверьте водород на чистоту и продолжите опыт.

По завершении восстановления оксида отключите газовую горелку и охладите реакционную трубку до комнатной температуры в токе водорода. Погасите пламя горящего водорода и разберите прибор (огонь вблизи не зажигать!). Оставшийся непрореагировавший цинк промойте водой и сдайте лаборанту.

(Ток водорода можно прекратить только после охлаждения реакционной трубки до температуры, близкой к комнатной!)

Восстановленный металл взвесьте с точностью $\pm 0,01$ г и рассчитайте состав исходного оксида. Напишите уравнения реакций.

1. Как можно регулировать в данном приборе скорость выделения водорода?
2. Зачем в газоотводную трубку помещается медная сетка или фольга?
3. Зачем требуется охладить реакционную трубку до комнатной температуры перед отключением тока водорода?
4. Как установить окончание восстановления оксида металла?
5. Оксиды каких металлов могут быть восстановлены водородом в этом опыте (при 200 — 500 °С)?

ГЛАВА 11

ГАЛОГЕНЫ

(Опыты с галогенами выполняют только в вытяжном шкафу, в маске или очках и с разрешения преподавателя. Опыты с бромом проводят под наблюдением преподавателя в защитных перчатках и очках.)

Для нейтрализации свободных галогенов рекомендуется использовать кальцинированную соду — карбонат натрия.

Продукты реакции, содержащие свободные галогены сливают в специальные емкости (ни в коем случае не выливают в раковину!), расположенные в вытяжном шкафу. Реакционный сосуд затем два — три раза ополаскивают небольшими порциями воды (в вытяжном шкафу!), а промывные воды также сливают в эти емкости. После последнего ополаскивания реакционный сосуд промывают раствором соды. Содовый раствор можно вылить в раковину под тягой, а прибор вынести из вытяжного шкафа.)

Хлор — ядовитый зеленовато-желтый газ. Вдыхание небольших количеств 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 выводят на свежий воздух до полного исчезновения симптомов отравления.

Бром — тяжелая жидкость, образующая темно-красные пары, способные вызвать отравление, слезоотделение, удушье и поражение дыхательных путей. Попадание жидкого брома на кожу приводит к образованию труднозаживающих 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 рекомендуется использовать 2—3%-ный раствор тиосульфата натрия. При случайном вдыхании паров брома необходимы покой, вдыхание паров разбавленного (2%-ного) раствора аммиака или паров этанола и свежий воздух.

Иод — кристаллическое вещество. Пары иода, темно-фиолетового цвета, имеют неприятный запах, похожий на запах хлора, раздражающе действуют на слизистые оболочки. Для нейтрализации иода используют тиосульфат натрия.

11.1. Получение галогенов

Реакции образования хлора

В качестве индикатора выделения газообразного хлора используйте полоску фильтровальной бумаги, смоченную каплей раствора иодида калия (рис. 59).

1. Поместите в пробирку несколько кристалликов перманганата калия и добавьте 1 мл концентрированной соляной кислоты. Проведите следующие опыты и ответьте на вопросы.

А. Поднесите к пробирке полоску фильтровальной бумаги, смоченной раствором иодида калия. Как изменяется окраска иодида калия при действии хлора? Напишите уравнения реакций.

Б. Подкислите раствор иодида калия на фильтровальной бумаге каплей концентрированной соляной кислоты и поднесите к пробирке с выделяющимся хлором. Что наблюдаете? Отметьте отличия от предыдущего опыта. Напишите уравнения реакций.

В. Смочите полоску фильтровальной бумаги раствором бромида калия и поднесите к пробирке с выделяющимся хлором. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Г. Какой цвет приобрел раствор в пробирке после прекращения выделения хлора? Слейте раствор в другую пробирку и разбавьте водой. Что могло содержаться в растворе? Отметьте изменение цвета.

Д. Какой цвет имеет оставшееся в пробирке твердое вещество? Добавьте к нему дистиллированной воды и отметьте окраску раствора.



Рис. 59. Анализ состава газовой среды с помощью индикаторной бумаги

Чем может быть обусловлена окраска раствора? Будет ли отличаться по результатам последний эксперимент, если перманганат калия предварительно тщательно растереть?

2. В пробирку поместите небольшое количество оксида марганца(IV) и добавьте 1 мл концентрированной соляной кислоты. Отметьте выделение хлора. Какую окраску приобрел раствор в пробирке по завершении реакции? Небольшое количество образовавшегося раствора перелейте в другую пробирку и разбавьте водой. Отметьте изменение цвета. Что могло содержаться в растворе? Напишите уравнения реакций.

3. Поместите в пробирку немного тщательно растертого дихромата калия и добавьте 1 мл концентрированной соляной кислоты. Если признаков химической реакции нет, пробирку слегка подогрейте в пламени газовой горелки. Определите, выделяется ли хлор в этом случае. Напишите уравнения реакций.

4. Поместите в пробирку немного хлорной извести и добавьте 1 мл концентрированной соляной кислоты. Какой газ выделяется? Напишите уравнение реакции.

5. Внесите в пробирку небольшое количество хлората калия и добавьте 1 мл концентрированной соляной кислоты. Что происходит? Напишите уравнение реакции.

6. Поместите в пробирку немного сухой смеси хлорида натрия и оксида марганца(IV) и из пипетки осторожно добавьте несколько капель концентрированной серной кислоты. Смесь слегка подогрейте. Что наблюдаете? Напишите уравнение реакции.

Получение хлора

Получение хлора действием соляной кислоты на перманганат калия. Хлор, получаемый действием соляной кислоты на перманганат калия, содержит газообразные примеси хлороводорода и воды, а также мелкие капли раствора перманганата калия (аэрозоля), увлекаемые из зоны реакции током газа. Общая схема прибора приведена на рис. 60.

В колбу Вюрца 1 поместите 10—15 г тщательно растертого в фарфоровой ступке перманганата калия и смочите небольшим количеством воды (1—2 мл). В капельную воронку 2 налейте под наблюдением преподавателя концентрированной соляной кислоты не более $\frac{2}{3}$ объема.

(Убедитесь, что используете именно соляную кислоту, а не серную, так как ошибка может привести к взрыву.)

При необходимости очистки от аэрозольных частиц присоедините к колбе Вюрца 1 маленькую трубку (прямую с расширением в средней части 3 или U-образную 4) с помещенным в нее небольшим неплотным фильтром из хлопковой или стеклянной ваты. Для поглощения примесей хлористого водорода пропустите хлор через промывалку с водой 5, а для осушки — через одну или две промывалки 7 с концентрированной серной кислотой. Степень очистки и осушки хлора и, соответственно, комплектация прибора определяются потребностями опыта.

(Во избежание попадания концентрированной серной кислоты на перманганат калия, промывалка с серной кислотой должна быть отделена от колбы Вюрца пустой предохранительной промывалкой 6, установленной обратным ходом.)

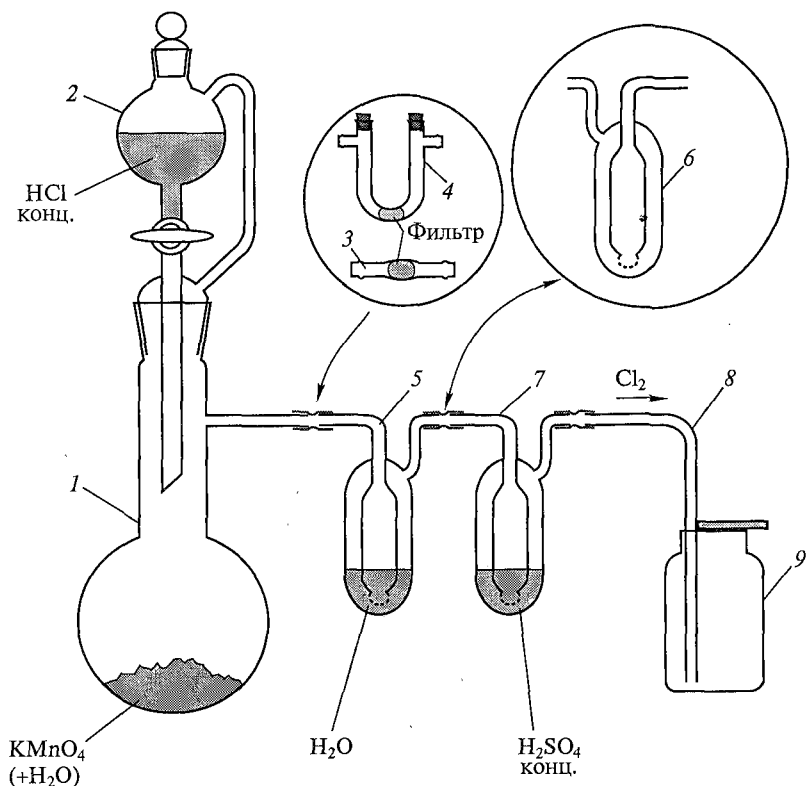


Рис. 60. Прибор для получения хлора:

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3, 4 — фильтры; 5 — промывалка с водой; 6 — предохранительная пустая промывалка; 7 — промывалка с серной кислотой; 8 — газоотводящая трубка; 9 — склянка

Для получения равномерного тока хлора медленно приоткройте кран капельной воронки 2 и добавляйте по каплям концентрированную соляную кислоту к перманганату калия. Скорость выделения хлора в склянку 9 по газоотводящей трубке установите по скорости пробульживания хлора через промывалки (обычно рекомендуется 1—2 пузырька в секунду).

Получение хлора действием соляной кислоты на оксид марганца(IV). В колбу Вюрца 1 (рис. 61) поместите 20 г оксида марганца(IV). Для очистки получаемого хлора на выходе колбы присоедините последовательно две промывалки: одну 3 — с водой, а вторую 4, если это необходимо, — с концентрированной серной кислотой. С помощью резиновой пробки в горло колбы Вюрца поместите длинную воронку 2 так, чтобы ее конец немного (на 5—10 мм) не доставал дна колбы (см. подразд. 10.3). Колбу Вюрца закрепите в лапке штатива над асбестовой сеткой или стеклокерамической пластиной. Через воронку налейте концентрированную соляную кислоту в колбу в таком количестве, чтобы уровень жидкости закрывал конец воронки для хлора. Когда ток газа замедлится, осторожно подогрейте колбу пламенем газовой горелки через асбестовую сетку.

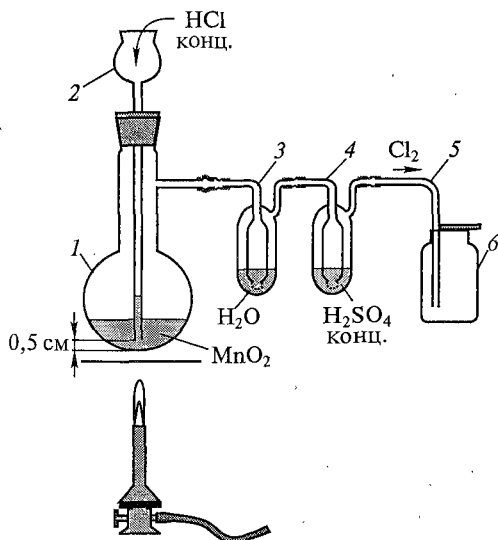


Рис. 61. Прибор для получения хлора действием соляной кислоты на оксид марганца(IV):

1 — колба Вюрца; 2 — воронка; 3, 4 — промывалки; 5 — газоотводящая трубка; 6 — склянка

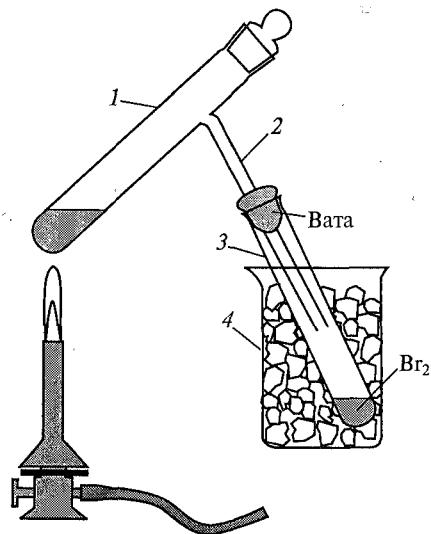


Рис. 62. Прибор для получения брома: 1 — пробирка Вюрца; 2 — газоотводная трубка; 3 — пробирка-приемник; 4 — баня со льдом и водой

Какие примеси могут содержаться в получаемом газе? Чем можно регулировать скорость выделения хлора? Как можно проверить герметичность этого прибора?

Получение брома

В большую пробирку Вюрца 1 (рис. 62) поместите 5 г бромиды калия и 2,5 г дихромата калия и прилейте 2 мл воды. Газоотводную трубку 2 опустите в пробирку-приемник 3, охлаждаемую в ледяной бане 4 водой со льдом. Осторожно прибавьте в пробирку 1 с реакционной смесью 5 мл концентрированной серной кислоты и закройте пробирку стеклянной шлифованной пробкой. Осторожно нагрейте реакционную смесь пламенем газовой горелки и отгоните образовавшийся бром в пробирку-приемник 3. Напишите уравнения реакций.

Полученный бром используйте в опытах по изучению его свойств (см. подразд. 11.3).

Получение иода

1. К 20 мл раствора, содержащего 3,5 г иодида калия, добавьте рассчитанное по уравнению реакции количество серной кислоты и 15 мл 3%-ного раствора пероксида водорода. Выпавший осадок иода отделите и просушите на стеклянном пористом фильтре, затем поместите в бюкс и взвесьте. Напишите уравнение реакции. Рассчитайте выход продукта в процентах от теоретического относительно взятого количества иодида калия.

2. Поместите в прибор для сублимации иода (см. рис. 45) 1,0 г иодида калия и 1,0 г оксида марганца(IV), перемешайте смесь стеклянной палочкой и смо-

ните несколькими каплями концентрированной серной кислоты. Нагрейте смесь через асбестовую сетку пламенем горелки до полной возгонки иода и исчезновения фиолетовых паров. Возогнаный иод соберите в бюкс и взвесьте. Рассчитайте выход продукта в процентах от взятого иодида калия. Напишите уравнение реакции.

Полученный иод используйте в опытах по изучению его свойств (см. подразд. 11.4).

11.2. Свойства хлора

Соберите прибор для получения хлора (см. рис. 60) и проделайте следующие опыты.

Взаимодействие хлора с металлами

1. Заполните склянку сухим хлором и стряхните в нее с кончика шпателя небольшое количество тонкоизмельченного порошка сурьмы. Что происходит?

2. Поместите в пробирку гранулу олова и пропустите ток сухого хлора. Слегка нагрейте олово до начала химической реакции. По завершении взаимодействия отметьте агрегатное состояние получившегося вещества.

Напишите уравнения реакций.

Взаимодействие хлора с неметаллами

1. Поместите на дно пробирки небольшое количество красного фосфора и пропустите ток сухого хлора. Если реакция не идет, то для ее инициирования дно пробирки слегка подогрейте пламенем газовой горелки. Что происходит при пропускании избытка хлора? Отметьте агрегатные состояния и цвет образующихся последовательно продуктов реакции.

2. На дно пробирки поместите несколько кристаллов сухого иода. Пропустите ток сухого хлора и отметьте изменения цвета продуктов реакции. Какие вещества последовательно образуются при этом?

Напишите уравнения реакций.

Какие соединения существуют в системе «иод—хлор»?

Взаимодействие хлора с растворами бромида и иодида калия

1. Поместите в три пробирки по 1 мл раствора бромида калия или натрия. В одну пробирку добавьте 1 мл концентрированной соляной кислоты, а в другую 1 мл 10%-ного раствора гидроксида натрия. Раствор в третьей пробирке оставьте неизменным. Пропустите через растворы избыток хлора до прекращения изменения окраски. Что наблюдаете?

2. Проделайте аналогичный опыт с растворами иодида калия. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Хлорная вода

Пробирку с 5—7 мл дистиллированной воды поместите в стакан со льдом и водой и пропустите хлор, очищенный от следов хлороводорода, до насыщения. В какой цвет окрашивается полученный раствор?

Что образуется в результате растворения хлора? Напишите уравнение реакции. Как зависит растворимость хлора в воде от температуры?

1. К 1—2 мл хлорной воды в пробирке добавьте немного карбоната кальция. Что происходит? Напишите уравнение реакции.

Как соотносится сила соляной, угольной и хлорноватистой кислот? Может ли угольная кислота вытеснить хлорноватистую кислоту из ее соли?

2. Проверьте действие хлорной воды на бумагу с универсальным индикатором. Что наблюдаете?

3. Налейте в пробирку 1—2 мл хлорной воды и добавьте небольшое количество (слой ~5 мм) неполярного растворителя (бензола, тетрахлорида углерода). Тщательно перемешайте содержимое пробирки. После разделения воды и неполярного растворителя на два слоя отметьте окраску каждого, сравните ее с цветом исходной хлорной воды. Что произошло? В эту же пробирку по каплям добавьте 1 М раствор гидроксида натрия до прекращения изменения окраски, тщательно перемешивая содержимое после добавления каждой капли щелочи. Как изменяется окраска каждого из слоев? Какие процессы происходят при этом? Напишите уравнение реакции. После стабилизации окраски раствора добавьте в пробирку по каплям 1 М раствор серной кислоты, перемешивая содержимое после каждой новой капли. Как изменяется цвет каждого из слоев? Напишите уравнение реакции.

4. Налейте в пробирку 2 мл воды, добавьте по капле растворов бромида и иодида калия, прилейте неполярный растворитель до образования слоя толщиной ~5 мм. Добавляйте по каплям хлорную воду, тщательно перемешивая содержимое пробирки после прибавления каждой капли. Отметьте изменения окраски неполярного растворителя. Образованию каких продуктов соответствует наблюдаемая окраска? Напишите уравнения последовательных превращений.

11.3. Свойства брома

Взаимодействие брома с металлами

(Эксперименты с жидким бромом следует проводить в вытяжном шкафу в защитной маске (очках) и перчатках в присутствии преподавателя.)

1. Закрепите пробирку в лапке штатива над баней с песком и налейте в нее небольшое количество (~0,5 мл) брома. Возьмите тигельными щипцами или длинным пинцетом узкую полоску алюминиевой фольги, предварительно защищенной наждачной бумагой или скальпелем, и бросьте в пробирку с бромом. (*Осторожно! Реакция сильно экзотермична и начинается не сразу!*) По завершении реакции отметьте цвет и агрегатное состояние продукта. Напишите уравнение реакции.

2. Проведите аналогичный опыт с гранулированным оловом.

Взаимодействие брома с неметаллами

Налейте в пробирку, закрепленную в лапке штатива над баней с песком, ~0,5 мл брома и стряхните в нее со шпателя немного порошка сухого красного фосфора. По завершении реакции рассмотрите образовавшиеся продукты

реакции. Отметьте их цвет и агрегатное состояние. Напишите уравнения реакций.

Как может зависеть состав продуктов реакции от соотношения взятых реагентов?

Получение и свойства бромной воды

1. В пробирку налейте одну — две капли брома и добавьте 5 мл дистиллированной воды. Перемешайте содержимое стеклянной палочкой. Отметьте окраску водного слоя. Отлейте 1 — 2 мл полученного раствора в другую пробирку. Добавьте небольшое количество (слой ~5 мм) неполярного растворителя (бензола, тетраоксида углерода) и тщательно перемешайте содержимое пробирки. После расслаивания жидкостей отметьте окраску водного слоя и слоя неполярного растворителя. По каплям добавьте 1 М раствор гидроксида натрия, тщательно перемешивая жидкости после каждой новой капли щелочи. Отметьте изменения окраски слоя неполярной жидкости. Напишите уравнение реакции.

В образовавшуюся смесь прибавьте по каплям 1 М раствор серной кислоты, тщательно перемешивая содержимое пробирки. Отметьте изменение окраски слоя неполярного растворителя. Напишите уравнение реакции.

Какова растворимость брома в воде? Как она зависит от температуры?

2. К раствору брома в воде (бромной воде) добавьте по каплям раствор иодида калия. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

3. К бромной воде, содержащей нерастворенный бром, добавьте немного раствора бромида калия и перемешайте. Отметьте изменение окраски раствора. Растворился ли бром полностью?

11.4. Свойства иода

1. В четыре пробирки налейте по 5 мл дистиллированной воды, раствора хлорида натрия, раствора бромида калия и раствора иодида калия. В каждую пробирку опустите по несколько крупинок маленьких кристалликов иода. Содержимое пробирок перемешайте. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

2. В пробирку с дистиллированной водой поместите кристаллик иода и нагрейте. Отметьте окраску образующегося при нагревании раствора. Как изменяется окраска при охлаждении раствора?

Объясните изменения окраски после охлаждения раствора. Какова растворимость иода в воде? В какой форме иод находится в водном растворе? Как зависит растворимость иода от температуры? Сравните с температурной зависимостью растворимости хлора и брома.

3. Налейте в пробирку 2 мл разбавленной серной кислоты, добавьте две — три капли концентрированного раствора бромата калия и маленький кристаллик иода. Содержимое пробирки тщательно перемешайте и прибавьте несколько капель неполярного растворителя до образования тонкого слоя (~5 мм). Встряхните содержимое пробирки. Отметьте окраску слоя неполярного растворителя. Напишите уравнение реакции.

11.5. Галогениды металлов

Малорастворимые галогениды

1. К растворам хлорида натрия, бромида калия и иодида калия добавьте по несколько капель раствора нитрата серебра. Отметьте цвет образующихся осадков и напишите уравнения реакций. Прделайте следующие опыты с полученными осадками.

А. Испытайте действие на осадки хлорида серебра концентрированной соляной кислоты и насыщенного раствора хлорида натрия. Что происходит? Напишите уравнения реакций.

Б. Испытайте действие на осадки бромида серебра насыщенного раствора бромида калия и концентрированной азотной кислоты. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

В. К осадку иодида серебра добавьте избыток раствора иодида калия. Что наблюдаете? Напишите уравнение реакции.

2. К растворам хлорида натрия, бромида калия и иодида калия добавьте по несколько капель раствора нитрата свинца. Отметьте цвет образующихся осадков и напишите уравнения реакций.

Окисление галогенид-ионов

1. К растворам хлорида натрия, бромида калия и иодида калия добавьте по несколько капель раствора перманганата калия. Отметьте окраску растворов. Определите рН растворов универсальной индикаторной бумагой. Какие химические процессы могут протекать в этих условиях? Напишите уравнения реакций.

К полученным растворам по каплям добавляйте 5 М раствор серной кислоты до прекращения изменения окраски раствора. Как изменяется окраска раствора при увеличении количества добавляемой кислоты? Какие химические превращения происходят при этом? Напишите уравнения реакций.

2. К растворам бромида калия и иодида калия добавьте раствор дихромата калия и подкислите по каплям 5 М серной кислотой до прекращения изменения окраски. Добавьте в пробирки несколько капель неполярного растворителя (бензола, тетрахлорида углерода) и отметьте окраску слоя неполярного растворителя. Напишите уравнения реакций.

3. К растворам бромида калия и иодида калия добавьте раствор пероксида водорода и подкислите серной кислотой. Что происходит? Напишите уравнения химических реакций.

Сравните стандартные окислительно-восстановительные потенциалы галогенид-ионов и используемых окислителей и объясните наблюдаемые явления.

Взаимодействие хлорида натрия, бромида калия и иодида калия с концентрированной серной кислотой

В три пробирки (рис. 63) поместите немного (~0,5 г) сухих солей: хлорида натрия, бромида калия и иодида калия. Подготовьте индикаторы: а) увлажненные полоски бумаги с универсальным индикатором; б) полоски фильтро-

льней бумаги, смоченные подкисленным раствором перманганата калия; в) полоски фильтровальной бумаги, смоченные раствором нитрата или ацетата свинца.

В каждую из пробирок добавьте пипеткой одну—две капли концентрированной серной кислоты. Поочередно помещая в пробирки полоски индикаторов (см. рис. 63), отметьте изменения их цветов.

Повторите этот эксперимент с бромидом и иодидом калия, добавив избыток концентрированной серной кислоты.

Сравните полученные результаты. Сделайте выводы о составе газообразных продуктов реакции. Напишите уравнения реакций.

Чем могут быть загрязнены бромид и иодид водорода, полученные этим способом? Какой из галогеноводородов является более сильным восстановителем? Какие галогеноводороды в чистом виде можно получить действием концентрированной серной кислоты на соответствующий галогенид?

Взаимодействие бромида и иодида калия с концентрированной ортофосфорной кислотой

В две пробирки поместите небольшое количество сухих бромида и иодида калия. В обе пробирки добавьте концентрированную ортофосфорную кислоту. При необходимости пробирки подогрейте. Для определения состава выделяющегося газа используйте, как и в предыдущем опыте, увлажненные полоски бумаги универсального индикатора и полоски фильтровальной бумаги, смоченные растворами подкисленного перманганата калия и нитрата свинца. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Объясните различие продуктов взаимодействия галогенидов с серной и фосфорной кислотами.

11.6. Галогениды водорода

(Галогеноводороды — удушливые газы, вызывают сильные ожоги слизистой оболочки, разрушают зубы и т.д. Все опыты с газообразными галогеноводородами следует проводить только в вытяжном шкафу!)

Получение хлороводорода

Для лабораторного получения хлороводорода используется прибор, изображенный на рис. 64. В колбу Вюрца 1 поместите ~20 г хлорида натрия и смочите его 3—5 мл концентрированной соляной кислоты. В капельную воронку 2 налейте 20—30 мл концентрированной серной кислоты, но не более $\frac{2}{3}$ объема.

При необходимости очистки хлороводорода от аэрозольных примесей (если на это указывается в методике) к колбе Вюрца присоедините маленькую труб-

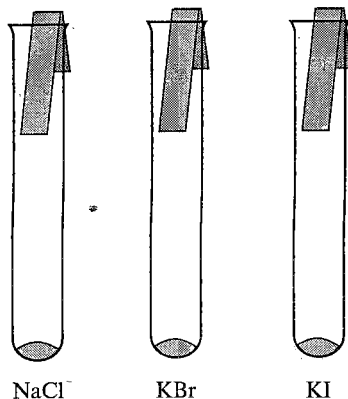


Рис. 63. Исследование взаимодействия галогенидов с серной кислотой

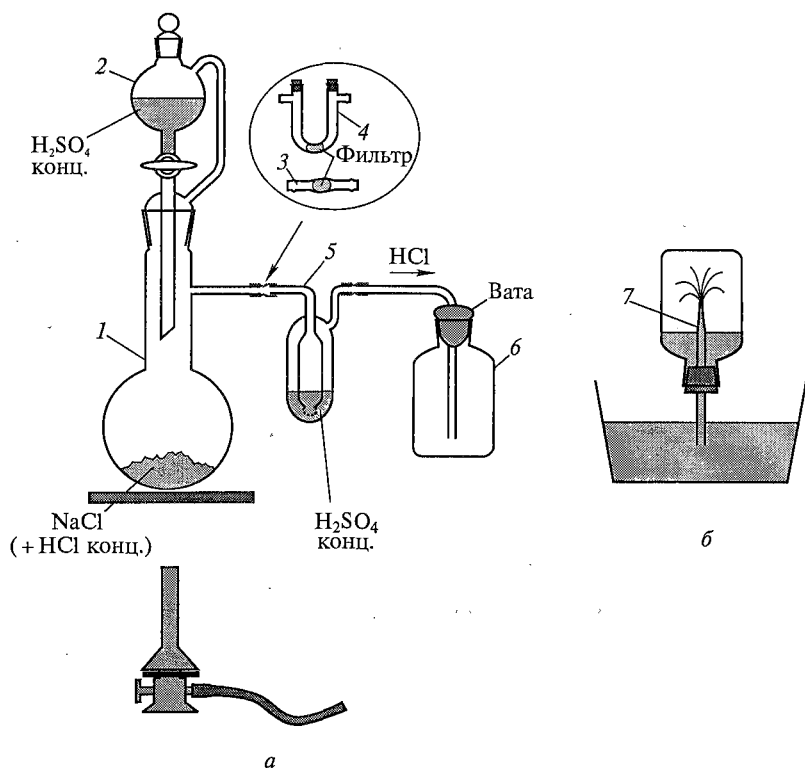


Рис. 64. Получение хлороводорода:

a — заполнение склянки хлороводородом; *б* — демонстрация опыта «фонтанчик»; 1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3, 4 — фильтры; 5 — промывалка с серной кислотой; 6 — толстостенная склянка; 7 — трубка с оттянутым носиком

ку (прямую с расширением в средней части 3 или U-образную 4) с помещенным в нее небольшим неплотным фильтром из хлопковой или стеклянной ваты. Для дополнительного осушения хлорида водорода (если на это также указывается в методике) присоедините еще одну промывалку с концентрированной серной кислотой.

Осторожно приоткройте кран капельной воронки 2 и медленно, по каплям добавляя серную кислоту в колбу 1, добейтесь равномерного тока хлорида водорода через промывалку 5. Заполните сухую *толстостенную*(!) склянку 6 хлороводородом (рис. 64, *a*).

Взаимодействие хлороводорода с водой («фонтанчик»)

Закройте склянку с хлороводородом резиновой пробкой с оттянутой трубкой 7, обращенной капилляром внутрь склянки. Для ускорения появления фонтанчика можно капнуть одну-две капли воды в трубку 7. В этом случае сразу же закройте трубку пальцем, переверните склянку вверх дном, опустите капиллярной трубкой 7 в кристаллизатор с водой (рис. 64, *б*) и уберите под водой палец с трубки. Дождитесь фонтанирования.

Концентрацию полученного раствора хлороводорода определите методом титрования стандартным (0,1 н.) раствором щелочи (см. подразд. 6.2). Рассчитайте теоретическое значение концентрации кислоты в предположении растворения одного объема газа в одном объеме воды и сравните с полученной при титровании величиной.

1. Как можно проверить полноту заполнения склянки хлороводородом? Предложите способ контроля полноты заполнения склянки хлороводородом.
2. Какова растворимость хлороводорода в воде? Каков состав азеотропной смеси хлороводорода с водой? Как зависит плотность соляной кислоты от содержания в ней хлороводорода? Какие еще возможны пути получения хлороводорода в лабораторной практике? Как получают хлороводород в промышленности? Какова процентная концентрация промышленной соляной кислоты?

Получение бромоводорода

Соберите прибор (рис. 65). В большую пробирку Вюрца 1 поместите 1 г красного фосфора и 2,5 мл воды. В капельную воронку 2 налейте 5 мл брома. При соедините маленькую U-образную трубку 3, заполненную стеклянной ватой, смешанной с красным фосфором. Газоотводную трубку 4 опустите в пробирку-приемник 5 с 15 мл воды, охлаждаемой 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 скорость реакции замедлится, то подогрейте пробирку Вюрца теплой водой с температурой $\sim 50^\circ\text{C}$.

По завершении реакции отберите мерной пипеткой 1,0 мл полученного раствора и разбавьте в мерной колбе до объема 100 мл. Измерьте pH разбавленного раствора и из его значения по модели идеальных растворов определите

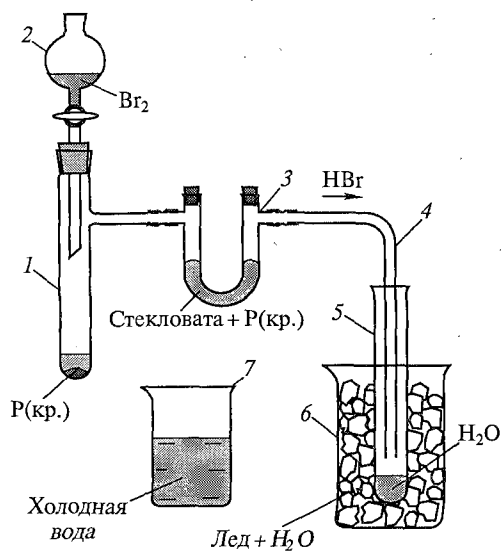


Рис. 65. Прибор для получения бромоводорода:

1 — пробирка Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — U-образная трубка с красным фосфором на стекловате; 4 — газоотводная трубка; 5 — пробирка-приемник; 6 — баня со льдом; 7 — стакан с водой

концентрацию кислоты в мерной колбе, а затем рассчитайте концентрацию исходной кислоты до разбавления. Определите выход относительно взятого количества брома.

Оставшийся раствор бромоводородной кислоты используйте для изучения взаимодействия с магнием, цинком и карбонатом кальция. Напишите уравнения протекающих реакций.

Какова растворимость бромоводорода в воде? Какие еще возможны пути получения бромоводорода в лаборатории? Как получают бромоводород в промышленности? Какова процентная концентрация промышленной бромоводородной кислоты?

Получение иодоводорода

Соберите прибор (рис. 66). В маленькую пробирку Вюрца 1 поместите 1 г иода и 0,3 г красного фосфора. Для очистки иодоводорода от паров иода в маленькую трубку 3 с расширением в средней части поместите стекловату, смешанную с красным фосфором. Газоотводную 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.

Продуйте прибор углекислым газом из аппарата Киппа через капельную пипетку 2, предварительно сняв с нее резинку. Затем внесите в пипетку сверху шесть капель воды. Закройте пипетку и по каплям добавляйте воду из пипетки 2 в реакционную смесь. Если взаимодействие происходит слишком медленно, нагрейте пробирку Вюрца 1 горячей водой в стакане 7.

По завершении реакции вновь продуйте прибор углекислым газом через капельную пипетку 2 для повышения выхода. Возьмите мерной пипеткой пробу 1,0 мл полученного раствора, перенесите в мерную колбу и разбавьте водой до 100 мл. Используя рН-метр, определите рН разбавленного раствора и рассчитайте концентрацию полученной кислоты (см. подразд. 2.6). Определите выход относительно взятого количества иода.

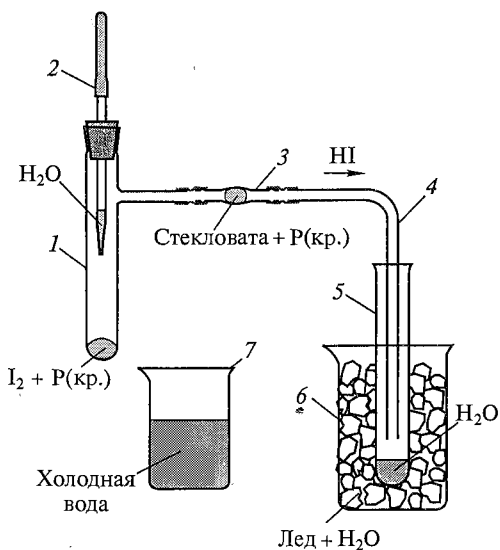


Рис. 66. Прибор для получения иодоводорода:

1 — пробирка Вюрца; 2 — капельная пипетка; 3 — трубка с расширением; заполненная красным фосфором на стекловате; 4 — газоотводная трубка; 5 — пробирка-приемник; 6 — баня со льдом; 7 — стакан с водой

Оставшийся раствор иодоводородной кислоты используйте для изучения взаимодействия с магнием, цинком и карбонатом кальция. Напишите уравнения протекающих реакций.

Какова растворимость иодоводорода в воде? Какие еще возможны пути получения иодоводорода в лабораторной практике? Какова термическая устойчивость иодоводорода? Почему раствор иодоводорода постепенно окрашивается в желтый цвет?

11.7. Белильная (хлорная) известь

Обработайте 1—2 г белильной извести 10 мл воды и отфильтруйте нерастворившиеся вещества.

1. Возьмите небольшое количество полученного раствора и испытайте его действие на окрашенную ткань. Что наблюдаете?

2. К части раствора белильной извести в пробирке прилейте раствор 1 М серной кислоты до кислой реакции и поднесите полоску фильтровальной бумаги, смоченную раствором иодида калия. Отметьте наблюдаемые изменения и напишите уравнение реакции.

3. Нагрейте концентрированный раствор белильной извести почти до кипения. Что происходит? Напишите уравнение реакции.

11.8. Синтезы по теме «Галогены»

Хлорид железа(III)

Соберите в вытяжном шкафу прибор (рис. 67). В сухую реакционную трубку б из тугоплавкого стекла поместите ~0,5 г тонкой железной проволоки или жужки, взвешенной с точностью $\pm 0,01$ г.

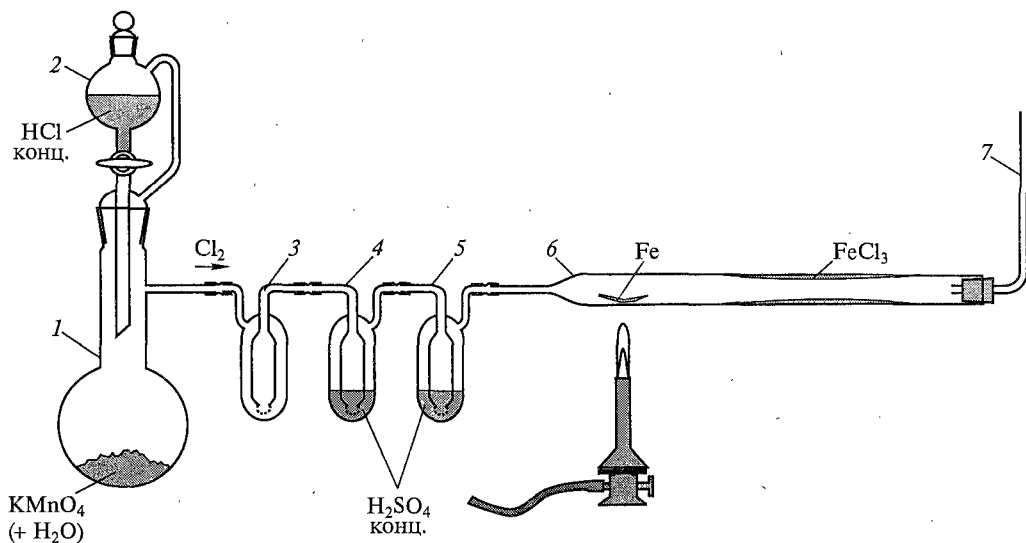


Рис. 67. Прибор для получения хлорида железа(III):

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — промывалка пустая (предохранительная); 4, 5 — промывалки с серной кислотой; 6 — реакционная трубка; 7 — газоотводная трубка

По каплям добавляйте концентрированную соляную кислоту к перманганату калия в колбу Вюрца 1. После заполнения прибора хлором осторожно обогреейте в токе хлора, а затем сильно нагрейте пламенем газовой горелки то место реакционной трубки 6, где лежит железо. Отрегулируйте ток хлора так, чтобы железо непрерывно горело в токе хлора, а хлорид железа конденсировался на стенках реакционной трубки 6 и не уносился из прибора через газоотводную трубку 7. При сильном разогревании железа отставьте горелку.

По окончании реакции охладите реакционную трубку 6 в токе хлора. Отсоедините трубку от промывалок, удалите остатки непрореагировавшего железа и быстро высыпьте хлорид железа(III) в предварительно взвешенную сухую пробирку, оттянутую посередине. Пробирку тотчас запаяйте и взвесьте. Напишите уравнение реакции. Рассчитайте выход в процентах относительно взятого количества железа.

Небольшое количество хлорида железа со стенок реакционной трубки 6 растворите в воде и определите рН среды универсальным индикатором. Объясните наблюдаемое явление и напишите уравнение реакции.

Хлорат калия

Получение хлората калия взаимодействием хлора с карбонатом калия. Соберите в вытяжном шкафу прибор (рис. 68). Налейте 40 мл дистиллированной воды в стакан 7 и растворите в ней при нагревании (70—80 °С) 3 г карбоната калия и 11,5 г карбоната натрия. Чтобы выход газоотводной трубки 5 не забивался твердыми продуктами реакции, присоедините к ней маленькую воронку 8 так, чтобы широкая часть ее слегка касалась поверхности раствора.

Пропустите ток хлора через горячий раствор, нагретый до 70—80 °С при непрерывном перемешивании стеклянной палочкой 6. Температуру раствора поддерживайте такой, чтобы при пропускании хлора происходило постоянное выделение углекислого газа. Прекращение выделения пузырьков углекислого газа в горячем растворе служит признаком окончания реакции. По завершении процесса охладите раствор при постоянном перемешивании в кристаллизаторе с водой и льдом.

Выделившиеся кристаллы отфильтруйте на стеклянном пористом фильтре и рассмотрите под микроскопом. Для очистки соли перекристаллизуйте полученный препарат. Вновь рассмотрите форму кристаллов под микроскопом. Взвесьте вещество и рассчитайте выход в процентах относительно взятого количества карбоната калия. Сопоставьте растворимости хлоратов калия и натрия. Напишите уравнение реакции.

Получение хлората калия из хлорной извести. В 100—150 мл воды растворите 14,5 г карбоната натрия, раствор нагрейте почти до кипения и внесите в него небольшими порциями 20 г свежей хлорной извести. Затем суспензию нагревайте еще 30 мин, после чего раствор охладите до комнатной температуры и отделите от осадка декантацией.

Для снижения рН полученного раствора пропустите через него ток углекислого газа. При образовании осадка проведите дополнительное фильтрование. К полученному раствору добавьте раствор 5,0 г гидроксида калия в 5—8 мл воды. Раствор упарьте в фарфоровой чашке на водяной бане до $\frac{1}{3}$ первоначального

объема и охладите в бане со льдом. Выпавшие кристаллы отделите на стеклянном пористом фильтре.

Для очистки полученного препарата проведите его перекристаллизацию из минимального количества воды. Полученные кристаллы хлората калия высушите на воздухе и взвесьте. Рассчитайте выход в процентах относительно гидроксида калия.

Свойства хлората 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. Что наблюдаете?

2. Проведите аналогичный опыт с концентрированной соляной кислотой. Что происходит в этом случае?

3. Смешайте 0,6 г хлората калия с 0,5 г щавелевой кислоты и 2,5 мл 20%-ной серной кислоты. Реакционную смесь в пробирке медленно нагрейте на водяной бане. Что наблюдаете?

Поднесите к пробирке полоску фильтровальной бумаги, смоченную раствором иодида калия. Что наблюдаете?

4. Взвесьте 0,5 г мелкокристаллического хлората калия и смешайте в фарфоровой чашке (*в вытяжном шкафу!*) стеклянной палочкой (*осторожно!*) с равным количеством (по объему) сахарной пудры. Поднесите к смеси длинную стеклянную палочку, смоченную концентрированной серной кислотой. (*Осторожно! Опыт проводите только под наблюдением преподавателя! Наденьте защитные очки и опустите створки вытяжного шкафа! Возможно разбрызгивание реакционной массы.*) Что наблюдаете?

Напишите уравнения реакций. На какие свойства хлората калия указывают сделанные опыты? Почему хлорат калия фильтруется на стеклянном фильтре?

Бромат калия

Получение бромата калия. Соберите прибор, изображенный на рис. 68. Налейте в стакан 45 мл воды и растворите в ней 5 г бромида калия и 10,2 г гидроксида натрия. Пропустите через раствор ток хлора до насыщения. Окончание реакции определите по изменению pH среды. Для этого возьмите пробу раствора, разбавьте водой и прокипятите до полного удаления свободных галогенов (иод-крахмальная бумажка не должна изменять цвет). Затем добавьте каплю фенолфталеина. Если не появится розовое окрашивание, то можно считать, что реак-

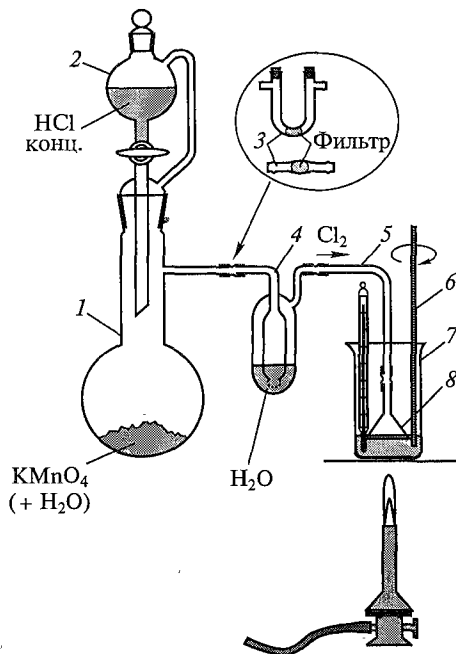


Рис. 68. Прибор для получения хлората калия:

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — трубка с фильтром; 4 — промывалка с водой; 5 — газоотводная трубка; 6 — стеклянная палочка для перемешивания; 7 — стакан; 8 — воронка

ция прошла до конца. Охладите раствор в воде со льдом. Выпавшие кристаллы отфильтруйте на воронке со стеклянным фильтрующим дном. Для очистки полученного препарата перекристаллизуйте его из минимального количества воды. Напишите уравнение реакции. Полученное вещество взвесьте и рассчитайте выход в процентах по отношению к взятому количеству бромида калия.

Свойства бромата калия.

(Опыты с броматом калия проводите только в вытяжном шкафу, в защитной маске или очках и под наблюдением преподавателя!)

1. В фарфоровую чашку поместите несколько кристаллов бромата калия и осторожно смочите тремя — четырьмя каплями концентрированной серной кислоты. Что наблюдаете?

2. Прделайте аналогичный опыт с концентрированной соляной кислотой. Что происходит в этом случае?

3. Взвесьте 0,5 г мелкокристаллического бромата калия и смешайте в фарфоровой чашке стеклянной палочкой (*осторожно! В вытяжном шкафу!*) с равным количеством (по объему) сахарной пудры. Поднесите к смеси длинную стеклянную палочку, смоченную концентрированной серной кислотой. (*Осторожно! Опыт проводите только под наблюдением преподавателя! Наденьте защитные очки и опустите створки вытяжного шкафа! Возможно разбрызгивание реакционной массы.*) Что наблюдаете?

На какие свойства бромата калия указывают проделанные опыты. Напишите уравнения реакций.

Иодат калия

Получение иодата калия. Подогрейте в химическом стакане 20 мл дистиллированной воды и растворите 5 г тонкорастертого перманганата калия. В полученный горячий раствор внесите небольшими порциями 2,5 г мелкоизмельченного иода. Для инициирования реакции добавьте немного (0,1 г) иодида калия или прилейте несколько капель гидроксида калия. О завершении реакции можно судить по изменению окраски капли пробы раствора на белом фоне фильтровальной бумаги. По окончании взаимодействия горячий раствор профильтруйте через бумажный складчатый фильтр на воронке для горячего фильтрования.

Стакан с фильтратом охладите в бане со льдом. Выпавшие при охлаждении кристаллы иодата калия отфильтруйте на воронке со стеклянным фильтрующим дном подходящей пористости. Фильтрат соберите в отдельный стакан.

Для увеличения выхода промойте остаток на воронке для горячего фильтрования в несколько приемов 50 мл кипящей дистиллированной воды. Полученный раствор объедините с предыдущим фильтратом и упарьте в фарфоровой чашке на водяной бане до $\frac{1}{4}$ объема. Раствор после упаривания охладите в бане со льдом и отфильтруйте выпавшие кристаллы иодата калия на воронке со стеклянным фильтрующим дном.

Напишите уравнение реакции синтеза иодата калия. Определите выход иодата калия относительно взятого количества иода.

Свойства иодата калия.

1. В фарфоровую чашку поместите несколько кристаллов иодата калия и осторожно смочите тремя — четырьмя каплями концентрированной серной кислоты. Что наблюдаете?

2. Прodelайте аналогичный опыт с концентрированной соляной кислотой. Что происходит в этом случае?

На какие свойства иодата калия указывают прodelанные опыты? Напишите уравнения реакций.

Кислый иодат калия ($KIO_3 \cdot HIO_3$)

Налейте в химический стакан 20 мл дистиллированной воды и внесите 5,0 г хлората калия. Подготовьте 6,5 г тонкоизмельченного иода. Внесите в стакан на кончике шпателя небольшое количество иода. Накройте стакан часовым стеклом и медленно нагрейте на асбестовой сетке. Следующую порцию вносите только после исчезновения в стакане окраски паров иода. Если после добавления очередной порции иода окраска не исчезает, добавьте несколько кристалликов хлората калия до обесцвечивания содержимого стакана. Затем в горячий раствор внесите небольшими порциями 1,7 г карбоната калия. Охладите полученный раствор. Выпавшие кристаллы отделите фильтрованием на стеклянном пористом фильтре. Для очистки полученного соединения, если необходимо, проведите его перекристаллизацию. Рассчитайте выход в процентах относительно взятого количества иода. Напишите уравнения реакций.

Периодат калия

Получение периодата калия. Соберите в вытяжном шкафу прибор для получения очищенного от хлороводорода хлора (см. рис. 60). Приготовьте раствор 1,0 г хлората калия в 20 мл воды и поместите в коническую колбу. Добавьте 1,0 г иода и 2,0 г твердого гидроксида калия. Колбу поместите в водяную баню и пропустите через раствор при слабом нагревании (до 50—60 °С) ток газообразного хлора до полного насыщения раствора хлором.

Охладите полученный раствор до комнатной температуры и осторожно нейтрализуйте его 10%-ным раствором соляной кислоты до нейтрального или слабощелочного. Поместите колбу с раствором в баню со льдом и водой. Выпавшие кристаллы отделите на стеклянном пористом фильтре и перекристаллизуйте их из минимального количества воды. Напишите уравнения реакций.

Свойства периодата калия.

1. В фарфоровую чашку поместите несколько кристаллов периодата калия и осторожно смочите тремя—четырьмя каплями концентрированной серной кислоты. Что наблюдаете?

2. Прodelайте аналогичный опыт с концентрированной соляной кислотой. Что происходит в этом случае?

На какие свойства периодата калия указывают прodelанные опыты? Напишите уравнения реакций.

Дигидрат тетрахлороиодата(III) калия

Получение дигидрата тетрахлороиодата(III) калия окислением иодида калия хлором в соляной кислоте. Соберите в вытяжном шкафу прибор (рис. 69). В колбу Вюрца 1 поместите 15 г растертого перманганата калия, смоченного небольшим количеством воды, а в капельную воронку 2 налейте концентрированную соляную кислоту. Промывалки 3 и 8 заполните водой.

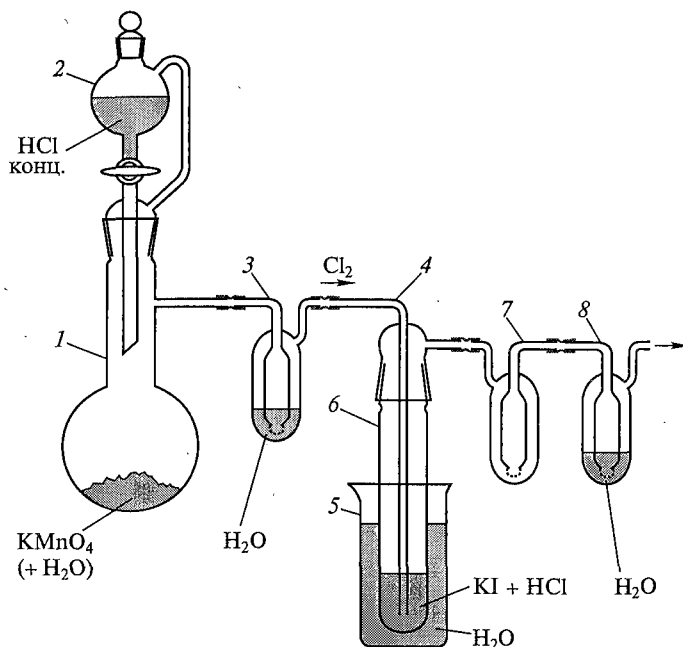


Рис. 69. Прибор для получения дигидрата тетрахлороиодата(III) калия:
 1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3, 8 — промывалки с водой; 4 — газоотводная трубка;
 5 — стакан с водой; 6 — реактор; 7 — предохранительная промывалка

В реактор 6 поместите раствор 3,0 г иодида калия в 7 мл воды и 1—2 мл концентрированной соляной кислоты. Реактор погрузите в стакан 5 с теплой (30—40 °С) водой.

Осторожно приоткройте кран капельной воронки 2 и, добавляя по каплям соляную кислоту к перманганату калия, установите сильный и равномерный ток хлора по газоотводной трубке 4 через раствор в реакторе 6, регулируя его по скорости пробурливания пузырьков через промывалку 8 (примерно один—два пузырька в секунду). Хлор пропускайте до тех пор, пока весь выпавший первоначально иод не прореагирует с хлором и окраска раствора не станет светло-желтой. Для ускорения реакции раствор с осадком иода рекомендуется периодически перемешивать длинной стеклянной палочкой, кратковременно приподнимая крышку реактора с газоотводной трубкой 4 и не прекращая пропускать хлор. Реактор 6 после завершения реакции отсоедините от прибора и охладите в бане со льдом.

Выпавшие кристаллы отделите на стеклянном пористом фильтре, вещество высушите на фильтре при включенном водоструйном насосе. Полученный препарат поместите во взвешенный бюкс, взвесьте и рассчитайте выход в процентах.

Часть кристаллов растворите в воде. Определите pH раствора. Какие продукты гидролиза образуются при растворении тетрахлороиодата(III) калия в холодной и горячей воде? Покажите, присутствует ли в растворе свободный иод. Напишите уравнения реакций.

Другие способы получения дигидрата тетрахлороиодата(III) калия. При выполнении этих опытов студентам предлагается самостоятельно адаптировать

Приведенные ниже методики к условиям проведения микроэксперимента. Необходимо пропорционально уменьшить количество исходных реагентов. Получать дигидрат тетрахлороиодата(III) калия рекомендуется в пробирках, используя минимальные количества реактивов (не более 0,5—1,0 г). Полученное в результате микросинтеза соединение промывать не надо, его можно сразу высушить на воздухе.

1. Растворите при комнатной температуре 1,8 г трихлорида иода, полученного по методике подразд. 33.4, в 2,5 мл концентрированной соляной кислоты. Приготовьте раствор 0,5 г хлорида калия в 2,5 мл концентрированной соляной кислоты. В раствор хлорида калия влейте раствор трихлорида иода и нагрейте смесь на водяной бане при перемешивании до 55—60 °С. Нагревание проводите до полного растворения выпавшего осадка (20—30 мин). Полученный раствор охладите до комнатной температуры, а затем — в воде со льдом. Выпавшие в осадок кристаллы отделите на стеклянном пористом фильтре.

2. К смеси 1 г хлората калия и 2 г тонкоизмельченного иода добавьте 1 мл воды. Нагрейте смесь на водяной бане до 40—50 °С, затем медленно по каплям прибавьте 4 мл концентрированной соляной кислоты до полного растворения иода и выдержите при этой температуре 15—20 мин. Раствор быстро декантируйте с осадка непрореагировавшего хлората калия и охладите в воде со льдом. Выпавшие кристаллы отделите на стеклянном пористом фильтре.

3. К 2 г тонкоизмельченного иодата калия медленно добавьте по каплям раствор концентрированной соляной кислоты. Каждую новую порцию кислоты подавайте только после полного выделения газа. По вступлении в реакцию всего иодата калия полученный раствор нагрейте до 40—50 °С, затем охладите в воде со льдом. Выпавшие кристаллы отделите от маточного раствора на стеклянном пористом фильтре.

4. К смеси 3 г иодата калия и 1 г иода добавьте 10 мл концентрированной соляной кислоты и нагрейте до полного растворения реагентов. После охлаждения раствора в воде со льдом отфильтруйте на стеклянном пористом фильтре выпавшие кристаллы.

5. К смеси 2,7 г иодата и 1,0 г иодида калия добавьте 8 мл концентрированной соляной кислоты, смесь нагрейте до растворения образующегося в начале иода. После охлаждения раствора в воде со льдом отфильтруйте на стеклянном фильтре выпавшие кристаллы.

6. К смеси 3 г нитрата калия и 1 г измельченного иода добавьте 10 мл концентрированной соляной кислоты. Смесь нагрейте до растворения иода. После охлаждения раствора в воде со льдом отфильтруйте выпавшие кристаллы на стеклянном пористом фильтре.

7. К 3 г иодида калия добавьте смесь концентрированных растворов азотной (3 мл) и соляной (6 мл) кислот, нагрейте ее до полного растворения продуктов реакции. После охлаждения раствора в воде со льдом отфильтруйте выпавшие кристаллы на стеклянном пористом фильтре.

Дихлоробромат(I) цезия

Соберите в вытяжном шкафу прибор для получения хлора, очищенного от хлороводорода (см. рис. 60). Налейте в стакан 20 мл дистиллированной воды и

растворите в ней 4,0 г хлорида цезия. Добавьте в раствор 2,0 г брома, нагрейте смесь на водяной бане до 40—50 °С и пропускайте хлор до насыщения.

По завершении реакции и исчезновении окраски брома охладите раствор в бане со льдом. Выпавшие кристаллы отделите от маточного раствора на стеклянном пористом фильтре и перекристаллизируйте их в минимальном количестве воды. Полученное вещество высушите в эксикаторе над оксидом фосфора (V), взвесьте и рассчитайте выход. Напишите уравнения реакций.

ГЛАВА 12

КИСЛОРОД

12.1. Получение кислорода

Разложение перманганата калия. Поместите в пробирку несколько кристалликов перманганата калия, пробирку закрепите наклонно в штативе и нагрейте пламенем горелки. Внесите в пробирку тлеющую лучинку. Что происходит? Какие продукты могут образоваться в результате разложения перманганата калия? Напишите уравнения реакций.

Разложение пероксида водорода. В пробирку налейте 3—5 мл 3%-ного пероксида водорода. На кончике шпателя внесите немного порошка оксида марганца(IV). Тлеющей лучинкой проверьте, какой газ выделяется. Напишите уравнение реакции. Какую роль играет оксид марганца(IV)?

В каких условиях может быть получен кислород из пероксида бария и бертолетовой соли? Напишите уравнения реакций.

12.2. Свойства кислорода

Заполните кислородом три склянки методом вытеснения воды (рис. 70). Для этого вначале наполните склянку 3 водой до краев и закройте ее стеклянной пластинкой 4, затем переверните и погрузите в кристаллизатор 2 с водой. Далее, опустите газоотводную трубку 1 от газометра (баллона, кислородной подушки, см. подразд. 3.4) в воду и отрегулируйте ток кислорода, чтобы можно было легко считать пузырьки газа. Заполните склянку кислородом, закройте ее под водой стеклянной пластинкой и выньте из воды. Прделайте следующие опыты.

1. Положите в ложечку для сжигания кусочек серы величиной с горошину, подожгите ее в пламени газовой горелки (*в вытяжном шкафу!*). Обратите вни-

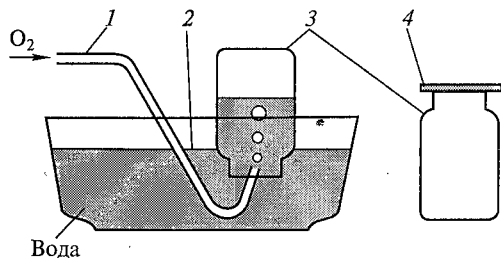


Рис. 70. Заполнение склянок кислородом:
1 — газоотводная трубка; 2 — кристаллизатор с водой; 3 — склянка; 4 — стеклянная пластинка

вание на цвет и размер пламени горящей серы. Внесите горящую серу в банку с кислородом. Как изменяется горение серы?

2. Положите в ложечку для сжигания небольшой кусочек древесного угля, накалите его в пламени газовой горелки и внесите в банку с кислородом. Как изменяется интенсивность горения угля в кислороде?

3. Сверните спиралью отрезок тонкой стальной проволоки. Наколите на проволоку маленький кусочек корковой пробки. Подожгите пробку и быстро внесите в банку с кислородом. Что происходит?

Напишите уравнения реакций.

1. Какие примеси может содержать собранный кислород? Как от них избавиться? Под каким давлением находится кислород в газометре?

2. Какой вывод о свойствах кислорода можно сделать на основании проведенных опытов? Как влияет на интенсивность горения веществ замена воздуха кислородом? Чем это объясняется? Почему у кислорода низкие температуры плавления и кипения? Какое строение имеет молекула озона?

12.3. Хемолюминесценция (синглетный кислород)

Соберите в вытяжном шкафу в затемненном месте прибор для получения хлора (см. рис. 60) без промывалки с серной кислотой. В качестве счетчика пузырьков оставьте промывалку с водой. Приготовьте в химическом стакане раствор двух частей 5 М раствора гидроксида натрия и одной части 30%-ного раствора пероксида водорода. Через полученный раствор пропускайте хлор отдельными пузырьками. Можно пропускать струю хлора над поверхностью раствора. Наблюдайте свечение. Какова его окраска? Напишите уравнения реакций.

Какова природа свечения?

12.4. Пероксид водорода

Получение пероксида водорода

Налейте в колбу 20 мл 5%-ного раствора серной кислоты. Взбалтывая содержимое колбы, добавьте в нее 1,0 г пероксида бария. Полученный раствор пероксида водорода отфильтруйте от осадка. Напишите уравнения реакций.

Как будет зависеть выход пероксида водорода от температуры и времени проведения эксперимента?

Свойства пероксида водорода

1. К раствору пероксида водорода прилейте несколько капель раствора иодида калия. Что наблюдаете? Разбавьте раствор водой и добавьте одну—две капли раствора крахмала. Что происходит? Напишите уравнение реакции.

2. Получите (в вытяжном шкафу!) осадок сульфида свинца взаимодействием растворов нитрата (ацетата) свинца и сульфида аммония (натрия). Небольшое количество осадка, промытого водой путем декантации, обработайте раствором пероксида водорода. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

3. К раствору пероксида водорода, подкисленного серной кислотой, добавьте каплю перманганата калия. Что наблюдаете? Напишите уравнение реакции.

Какие свойства проявляет пероксид водорода в этих реакциях?

13.1. Получение модификаций серы и исследование их свойств

Приведите в рабочем журнале схему $p - T$ фазовой диаграммы серы. Укажите области существования разных модификаций серы. Выпишите температуры и давления трехфазных неинвариантных равновесий.

Ромбическая сера. В сухую пробирку налейте 4—5 мл хлороформа (в вытяжном шкафу) и небольшими порциями, встряхивая содержимое пробирки, внесите порошок серы до образования насыщенного раствора. Полученный раствор профильтруйте в фарфоровую чашку, закройте ее стеклом и оставьте в вытяжном шкафу для медленного испарения. Каплю раствора поместите на предметное стекло, закройте покровным стеклом и наблюдайте за ростом кристаллов. Кристаллы зарисуйте.

Моноклинная сера.

1. Заполните небольшой фарфоровый тигель серой и медленно расплавьте ее. Расплав должен занимать не менее половины тигля. Охладите тигель, следя за образованием кристаллической корочки. Когда кристаллы почти сомкнутся в центре, быстро вылейте не успевшую застыть серу в стакан с водой. Рассмотрите в микроскоп и зарисуйте образовавшиеся в тигле кристаллы.

Два — три полученных кристалла растворите в хлороформе на часовом стекле и после удаления растворителя рассмотрите форму вновь образовавшихся кристаллов.

2. Поместите в пробирку 0,5 г серы и прилейте 5 мл концентрированной серной кислоты. Пробирку с содержимым нагрейте пламенем горелки до плавления серы, затем охладите до комнатной температуры. Слейте кислоту. Образовавшийся шарик серы промойте водой и просушите на фильтровальной бумаге, расколите на две половинки и рассмотрите скол под микроскопом. Зарисуйте форму кристаллов.

Изменение серы при нагревании. Наполните $\sim 1/5$ пробирки серой и, держа пробирку в руке при помощи зажима, осторожно обогревайте ее в пламени горелки. Наблюдайте плавление и последующие изменения цвета и вязкости серы.

Получение пластической серы. Нагрейте в пробирке серу до кипения и вылейте расплав тонкой струей в кристаллизатор с холодной водой. Полученную массу выньте из воды и высушите между листами фильтровальной бумаги. Испытайте тягучесть серы и ее растворимость в хлороформе. Часть полученной массы сохраните до следующего занятия и снова изучите ее свойства.

В каких условиях возможно образование ромбической или моноклинной серы? Какое строение молекул отвечает полученным модификациям серы? Является ли пластическая сера полиморфной модификацией серы? Чем объясняются изменения цвета и вязкости при нагревании серы? В чем причина склонности серы к катенации?

13.2. Сероводород

(Сероводород ядовит! Все опыты с сероводородом следует проводить в вытяжном шкафу. Продукты реакции, содержащие сероводород, ни в коем случае

нельзя выливать в раковину. Посуду с сероводородными остатками не допускается выносить из вытяжного шкафа! Для нейтрализации сероводорода рекомендуется использовать кальцинированную соду — карбонат натрия.)

Поместите в пробирку 1 (рис. 71, а) 1—2 г сульфида железа и прилейте 5—8 мл 20%-ного раствора соляной кислоты. Закройте пробирку пробкой с оттянутой газоотводной трубкой 2.

1. Подождите выделяющийся сероводород на выходе из трубки 2 (*осторожно!* Смесь сероводорода с воздухом взрывоопасна!) и, держа над пламенем смоченную водой маленькую полоску индикаторной бумаги, наблюдайте за изменением ее окраски.

2. Внесите в пламя сероводорода холодную крышку от тигля. Что появляется на ее поверхности? Погасите пламя и замените оттянутую трубку 2 на изогнутую 3 (рис. 71, б).

3. Смочите небольшие полоски фильтровальной бумаги четырьмя—шестью каплями: бромной, иодной воды и подкисленных растворов перманганата и дихромата калия и подействуйте на них выделяющимся из трубки 3 сероводородом. Что происходит?

Напишите уравнения реакций.

На какие свойства сероводорода указывают проделанные опыты?

4. Смочите полоску универсальной индикаторной бумаги водой и подействуйте на нее током сероводорода. Что наблюдаете?

Ознакомьтесь с константами диссоциации сероводородной кислоты.

5. Смочите полоски фильтровальной бумаги растворами солей железа(II), марганца(II), цинка, кадмия, свинца, сурьмы и меди и подействуйте поочередно на них сероводородом из пробирки. Что наблюдаете? Отметьте окраску образующихся сульфидов. Напишите уравнения реакций.

6. Пропустите ток сероводорода через концентрированный раствор серной кислоты в пробирке. Что наблюдаете? Напишите уравнение реакции.

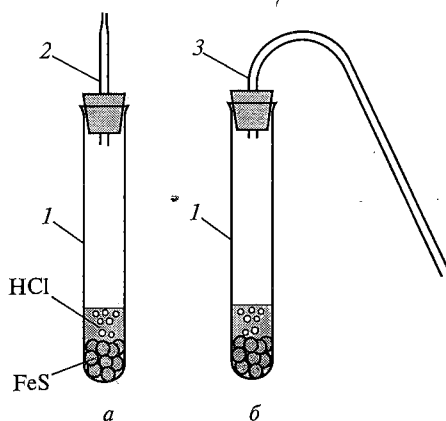


Рис. 71. Пробирки для получения сероводорода:

а — с оттянутой газоотводной трубкой;
б — с изогнутой; 1 — пробирка; 2, 3 —
газоотводные трубки

13.3. Сульфиды металлов

(Опыты по получению и исследованию свойств сульфидов выполняйте только в вытяжном шкафу!)

Получение сульфидов металлов из простых веществ

Сульфид меди. Заполните пробирку на $\sim 1/10$ серой и нагрейте ее в пламени горелки, пока пары серы не заполнят всю пробирку. Небольшую полоску мед-

ной фольги ~0,1 г, держа щипцами, накалите в пламени горелки докрасна и быстро внесите в пары серы. Что происходит? Испытайте отношение сульфида меди к действию воды и 3%-ного раствора соляной кислоты.

Сульфид алюминия. Смешайте ~1,0 г порошкообразного алюминия со стехиометрическим количеством тонко растертой в ступке серы. Высыпьте смесь горкой на железную пластину. Вставьте в середину горки магниевую ленту и подожгите ее горящей лучинкой в вытяжном шкафу (*не наклоняйтесь над смесью!*) при опущенных створках шкафа. Небольшое количество сульфида алюминия внесите в пробирку с горячей водой. Что происходит?

Сульфид железа. Приготовьте 1,0 г смеси порошкообразных серы и восстановленного железа, взятых в стехиометрическом соотношении, перенесите смесь в пробирку и, укрепив ее в лапке штатива, сильно нагрейте газовой горелкой дно пробирки до начала взаимодействия. Как только начнется реакция, уберите нагрев. Что наблюдаете? Какой состав может иметь сульфид железа? Испытайте отношение сульфида железа к действию воды и 3%-ного раствора соляной кислоты.

Сульфид цинка. Приготовьте 5,0 г смеси стехиометрических количеств порошкообразных цинка и серы, поместите смесь на металлическую пластинку и нагрейте на газовой горелке. Что происходит? Испытайте отношение сульфида цинка к действию воды и 3%-ного раствора соляной кислоты.

Напишите уравнения реакций получения сульфидов металлов из простых веществ, а также реакции взаимодействия полученных сульфидов с водой и соляной кислотой.

Осаждение сульфидов металлов сульфидом аммония

В ряд пробирок налейте по 1—2 мл растворов солей железа(II), железа(III), марганца(II), цинка, кадмия, свинца, сурьмы и меди. В каждую из пробирок прибавьте по 1—2 мл раствора сульфида аммония. Отметьте цвет образующихся осадков. Испытайте действие 3%-ного раствора соляной кислоты на полученные осадки, взяв небольшие их количества. Напишите уравнения реакций.

Выпишите значения произведения растворимости сульфидов этих металлов. Объясните, используя понятие «произведение растворимости», процесс осаждения и растворения сульфидов в этих условиях. Сульфиды каких металлов не растворяются в соляной кислоте? В чем они растворимы?

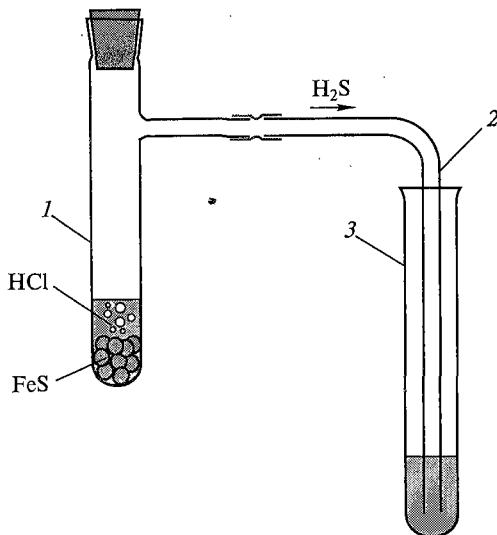
Осаждение сульфидов металлов сероводородом

Испытайте действие сероводорода на растворы тех же солей, что и в предыдущем опыте, используя для этого сероводородную воду или пропуская сероводород из пробирки с изогнутой трубкой (см. рис. 71, б) или пробирки Вюрца (рис. 72).

1. Объясните, почему осадки выпадают не из всех растворов. Сульфиды каких металлов не могут быть получены осаждением сероводородом из водных растворов?

рис. 72. Прибор для осаждения сульфидов металлов сероводородом:

1 — пробирка Вюрца; 2 — газотводная трубка; 3 — пробирка с исследуемым раствором



2. Классифицируйте исследованные сульфиды металлов по их растворимости в воде и кислотах.

Осаждение сульфидов металлов действием на растворы другими серосодержащими реагентами

Взаимодействие растворов солей металлов с тиосульфатом натрия. Налейте в пробирку 2 мл 1 М раствора тиосульфата натрия и добавьте 3 мл 1 М раствора нитрата меди. Что наблюдаете? Осторожно нагрейте пробирку в пламени горелки. Как изменяется цвет осадка? Повторите опыт с хлоридом цинка и нитратом свинца. Напишите уравнения реакций.

Взаимодействие растворов солей металлов с тиомочевинной. Поместите в пробирку 3 мл 1 М раствора нитрата свинца и добавьте к нему избыток 8 М раствора едкого натра. (*Осторожно! Наденьте защитные очки!*) Затем внесите 1 мл 1,5 М раствора тиомочевинной, перемешайте содержимое пробирки и нагрейте до 50 °С на водяной бане. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Свойства сульфидов, растворимых в воде

1. Испытайте действие раствора сульфида натрия на универсальную индикаторную бумагу. Что наблюдаете?

Как объяснить изменение окраски индикатора?

2. Налейте в пробирку 2 мл раствора сульфида натрия и пропустите ток оксида углерода(IV). Для определения состава выделяющегося газа используйте узкие полоски фильтровальной бумаги (см. рис. 59), смоченные растворами подкисленного перманганата калия и раствором ацетата свинца. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

1. Что произойдет с сульфидом натрия, если его оставить в открытой банке на воздухе?

2. Объясните процессы в растворе едкого натра при пропускании через него сероводорода.

13.4. Оксид серы(IV)

(Опыты с оксидом серы(IV) проводите в вытяжном шкафу!)

Реакции образования оксида серы(IV)

1. Подожгите в ложечке для сжигания крупинку серы. Что образуется при горении серы на воздухе?

2. Положите в пробирку несколько кристаллов сульфита натрия и добавьте 2—3 капли концентрированной серной кислоты. Какой газ выделяется?

3. Поместите в пробирку немного (не более 0,1 г) медных стружек или фольги и прилейте 1—2 мл концентрированной серной кислоты. Нагрейте пробирку в пламени горелки. Что наблюдаете? Какой газ выделяется?

Испытайте действие выделяющегося газа в пп. 1, 2 на полоску фильтровальной бумаги, смоченной подкисленным раствором перманганата калия. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Получение оксида серы(IV)

Получение оксида серы(IV) действием концентрированной серной кислоты на медь с последующим сжижением. Соберите прибор (рис. 73). В промывалку 3 налейте кон-

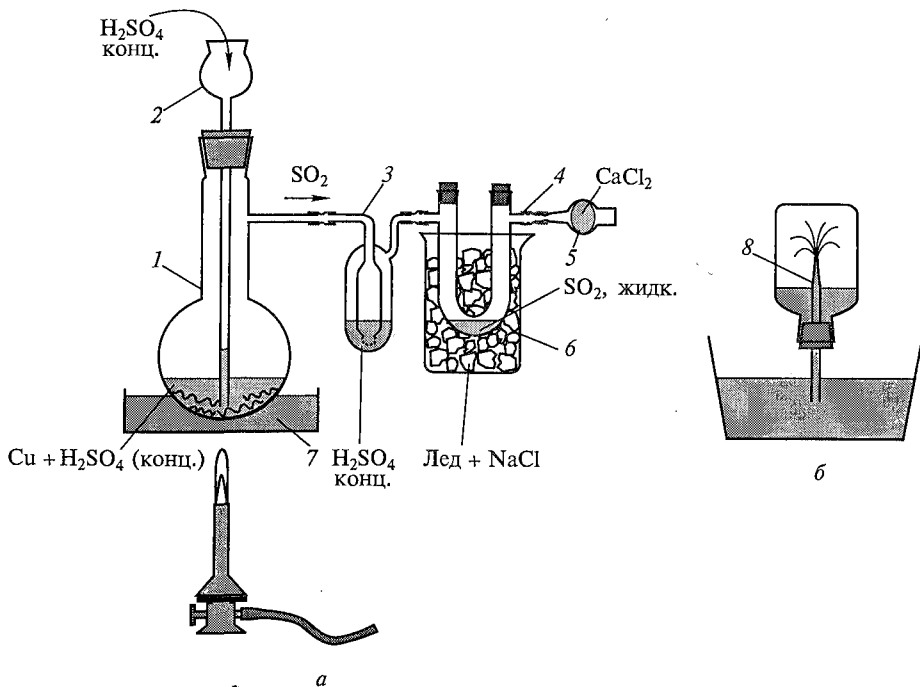


Рис. 73. Прибор для получения сернистого газа действием концентрированной серной кислоты на медь и его сжижения (а), демонстрация опыта «фонтанчик» (б):

1 — колба Вюрца; 2 — воронка; 3 — промывалка с серной кислотой; 4 — U-образная трубка-приемник; 5 — хлоркальциевая трубка; 6 — баня с охлаждающей смесью; 7 — песчаная баня; 8 — толстостенная склянка

центрированную серную кислоту, на выходе из U-образной трубки-приемника 4 установите трубку 5 с хлоридом кальция, U-образную трубку поместите в баню 6 с охлаждающей смесью хлорида натрия со льдом, температура которой должна быть ниже -10°C , и выдержите ее в бане 6 10—15 мин до начала нагревания колбы 1.

В колбу Вюрца 1 поместите 3—5 г медных стружек и прилейте через воронку 2 20—30 мл концентрированной серной кислоты. Сильно нагрейте реакционную колбу на песчаной бане 7 до начала интенсивного выделения газа, затем отставьте горелку. Следите за температурой охлаждающей смеси. Что собирается в U-образной трубке? Напишите уравнение реакции.

Содержимое колбы Вюрца по завершении опыта перенесите в плоскодонную колбу и используйте в опыте по выделению сульфата меди (см. подразд. 13.7).

Получение оксида серы(IV) действием концентрированной серной кислоты на сульфит натрия. Исходным веществом для получения оксида серы(IV) могут служить соли сернистой кислоты, например сульфит натрия. Для получения оксида серы(IV) таким способом соберите в вытяжном шкафу прибор (рис. 74). В колбу Вюрца 1 поместите 25—30 г сульфита натрия и смочите 5 мл

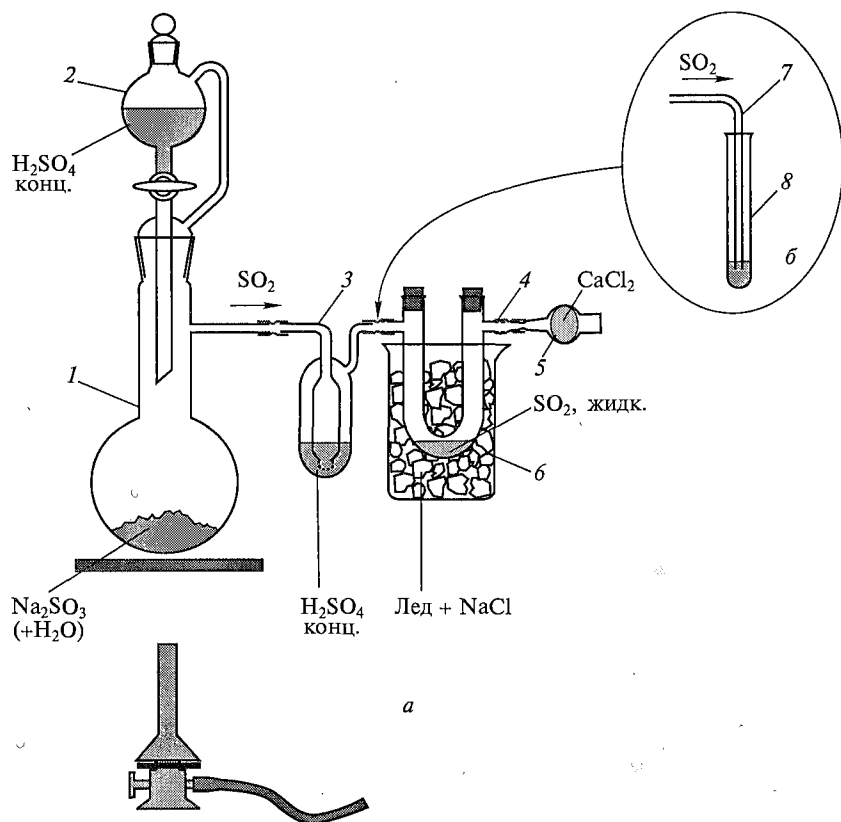


Рис. 74. Прибор для получения сернистого газа действием серной кислоты на сульфит натрия:

a — сжижение газа; *б* — пропускание газа через раствор; 1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — промывалка с серной кислотой; 4 — U-образная трубка-приемник; 5 — хлоркальциевая трубка; 6 — баня с охлаждающей смесью; 7 — газоотводная трубка; 8 — пробирка

воды. В капельную воронку 2 поместите 20—30 мл концентрированной серной кислоты (но не более $\frac{2}{3}$ объема). Для осушивания газа установите промывалку с концентрированной серной кислотой 3.

Медленно приоткройте кран капельной воронки 2 и по каплям добавляйте серную кислоту к сульфиту натрия. Установите ток сухого оксида серы(IV) один—два пузырька в секунду по скорости пробурливания через промывалку 3. Напишите уравнение реакции.

Продукты взаимодействия сульфита натрия с серной кислотой в колбе Вюрца 1 после завершения эксперимента могут быть использованы в опыте по получению серного ангидрида (см. подразд. 34.5).

Свойства оксида серы(IV)

После того как в приемнике соберется 2—3 мл жидкости, отсоедините его от прибора и присоедините вместо него изогнутую вниз газоотводную трубку 7.

1. В толстостенную склянку емкостью 50—100 мл (см. рис. 64, б) вылейте полученный жидкий оксид серы(IV). После его испарения плотно закройте склянку пробкой со стеклянной трубкой, оттянутой внутрь склянки. Переверните склянку с газом вверх дном и погрузите конец стеклянной трубки в кристаллизатор с водой. Дождитесь появления фонтанчика воды в склянке.

Объясните происходящее явление. Какие равновесия устанавливаются при растворении оксида серы(IV) в воде? Напишите уравнения реакций. Какие соли последовательно образуются при пропускании оксида серы(IV) через раствор гидроксида натрия? Какие продукты образуются при прокаливании этих солей?

2. Смочите небольшие полоски фильтровальной бумаги хлорной и бромной водой, а также растворами перманганата и дихромата калия, подкисленными серной кислотой. Пропустите над смоченными полосками бумаги ток оксида серы(IV) из газоотводной трубки 7. Что происходит? Напишите уравнения реакций.

Какие свойства проявляет при этом диоксид серы?

3. Налейте в одну пробирку 1—2 мл сероводородной воды, а в другую раствор сульфида натрия и пропустите через них ток оксида серы(IV) (рис. 74, б). Что происходит? Напишите уравнения реакций.

Какие свойства в данном случае проявляет сернистая кислота? Какие вещества образуются при взаимодействии газообразных диоксида серы и сероводорода?

4. Налейте в пробирку 2 мл раствора фуксина и пропустите через него ток оксида серы(IV). Что происходит? Прокипятите раствор. Что наблюдаете?

Чем можно объяснить происходящие явления?

13.5. Серная кислота и ее соли

(Опыты проводите в вытяжном шкафу!)

Отношение концентрированной серной кислоты к воде

Налейте в стакан 10—15 мл воды, измерьте ее температуру и, не вынимая термометра, добавьте 2 мл 96%-ного раствора серной кислоты. Запишите показания термометра.

В каком порядке следует приливать воду и концентрированную серную кислоту для приготовления растворов различной концентрации?

Действие серной кислоты на органические вещества

1. Опустите лучинку в пробирку с небольшим количеством концентрированной серной кислоты. Что происходит?

2. Приготовьте 2—3 мл раствора серной кислоты (1 : 1). Смочите конец стеклянной палочки этим раствором, сделайте надпись на листке белой бумаги. Осторожно нагревая, высушите бумагу. Что происходит?

На какие свойства серной кислоты указывают проделанные опыты?

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 при этом получаются?

Действие серной кислоты на неметаллы

В две пробирки налейте по 2—3 мл 96%-ного раствора серной кислоты, внесите в одну из них небольшой кусочек серы, в другую — угля и осторожно нагрейте. Что происходит? Напишите уравнения реакций.

Действие серной кислоты на металлы

Налейте в пробирку 2—3 мл концентрированной серной кислоты и опустите в нее несколько кусочков железной проволоки. Что наблюдаете? Осторожно нагрейте пробирку. Происходит ли при этом какое-либо изменение?

Какие свойства проявляет в этом случае серная кислота? В чем различие действия концентрированных и разбавленных растворов серной кислоты на металлы? Чем объясняется большая сила и устойчивость серной кислоты по сравнению с сернистой кислотой? Сравните окислительное действие серной и сернистой кислот.

Термическая устойчивость сульфатов

1. В небольшой тигель поместите 1—2 г гидросульфата натрия и сначала осторожно нагрейте, а затем сильно прокалите. Какие соединения при этом образуются? Напишите уравнения реакций.

2. В небольшой тигель положите несколько кристаллов кристаллогидрата сульфата железа(II), сначала нагрейте их, а затем сильно прокалите. Подержите над кристаллами индикаторную бумажку, смоченную водой. Что происходит? Напишите уравнение реакции.

3. Проделайте аналогичный опыт с гипсом и глауберовой солью.

От чего зависит различная термическая устойчивость кислородсодержащих солей серы и соответствующих кислот?

13.6. Тиосульфат натрия

Получение тиосульфата натрия

Растворите в небольшой конической колбе 2 г сульфита натрия в 25 мл воды. Измельчите в фарфоровой ступке 1,5 г серы (лучше использовать серный цвет), смочите спиртом и перенесите в колбу с раствором сульфита натрия. Смесь нагрейте до кипения. Признаком окончания реакции служит нейтральная реакция раствора по универсальной индикаторной бумаге. Добавьте еще два раза по 2 г сульфита натрия с продолжением кипячения до нейтральной реакции в каждом случае.

Полученный горячий раствор профильтруйте через бумажный фильтр на воронке для горячего фильтрования и упарьте на водяной бане до $\frac{1}{3}$ первоначального объема. Выпавшие после охлаждения кристаллы отфильтруйте на воронке Бюхнера. Напишите уравнение реакции.

Свойства тиосульфата натрия

1. Растворите несколько кристаллов тиосульфата натрия в небольшом количестве воды и добавьте 1—2 мл соляной кислоты. Что наблюдаете? Напишите уравнение реакции.

2. Поместите в небольшой тигель несколько кристаллов тиосульфата натрия и сначала осторожно, а затем сильно нагрейте. Что наблюдаете? Напишите уравнение реакции.

Как доказать, какие вещества образовались при распаде тиосульфата натрия?

3. Налейте в пробирку 3—4 мл хлорной воды и прибавьте по каплям раствор тиосульфата натрия до исчезновения запаха хлора. Напишите уравнение реакции.

Почему тиосульфат называют «антихлором»?

4. Проведите аналогичные опыты с бромной и иодной водой. Напишите уравнения реакций.

Почему при взаимодействии хлорной, бромной и иодной воды с тиосульфатом натрия получаются разные продукты окисления серы? Какое техническое название имеет тиосульфат натрия?

5. Проведите опыты по изучению взаимодействия тиосульфата натрия с растворимыми солями меди(I) и (II), цинка, свинца, железа(II) и (III).

13.7. Синтезы по теме «Сера, селен, теллур»

Получение сероводорода из простых веществ

(Опыт проводите в вытяжном шкафу под наблюдением преподавателя! Наденьте защитные очки или маску!)

Соберите прибор (рис. 75) и проверьте его герметичность. В пробирку Вюрца 3 поместите 1—2 г серы, во вторую пробирку Вюрца 4 налейте немного раствора сульфата меди и еще раз проверьте герметичность прибора.

Приоткройте кран аппарата Киппа 1 и установите равномерный ток водорода (1—2 пузырька в секунду) по скорости пробулькивания через раствор

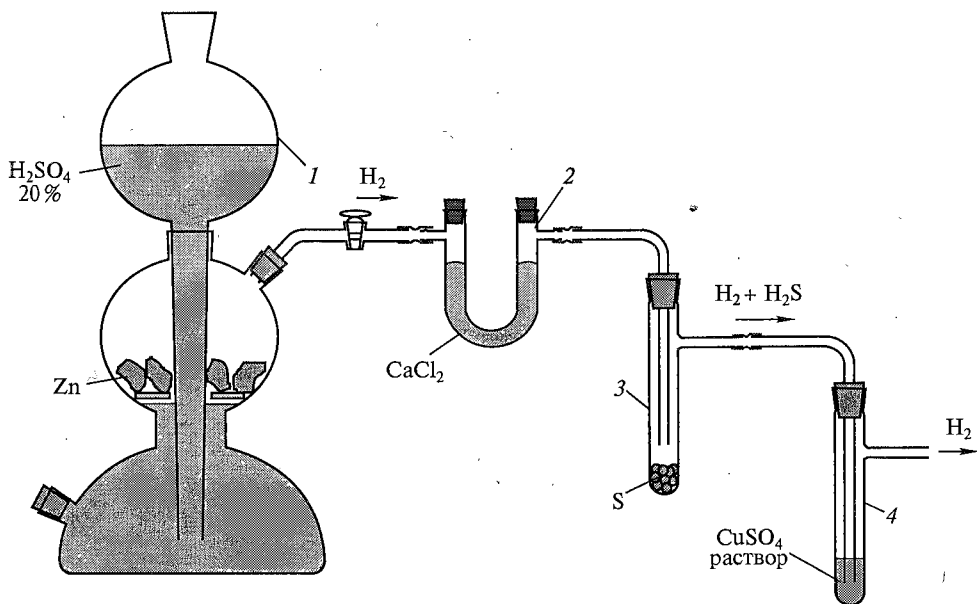


Рис. 75. Прибор для получения сероводорода из простых веществ:

1 — аппарат Киппа; 2 — U-образная трубка с хлоридом кальция; 3, 4 — пробирки Вюрца

сульфата меди в пробирке 4. Проверьте водород на чистоту на выходе из прибора (см. подразд. 10.1). Расплавьте серу в токе водорода, осторожно нагревая пробирку 3 пламенем горелки. Что происходит с раствором сульфата меди? Уберите нагрев и дайте пробирке 3 охладиться в токе водорода. Напишите уравнения реакций.

Получение смеси хлоридов серы и изучение их свойств

(Хлориды серы имеют отвратительный запах и способны вызывать аллергическую реакцию.)

Соберите в вытяжном шкафу прибор (рис. 76). Расплавьте 1—2 г серы в реторте 5 и, поворачивая реторту, смочите ее внутренние стенки тонким слоем жидкой серы. Дайте сере застыть. Присоедините реторту указанным на рис. 76 способом к прибору для получения осушенного хлора. Горло реторты опустите в небольшую колбу 6, охлаждаемую водой со льдом. Слегка обогрейте реторту 5, не расплавляя серу, и пропустите через нее ток хлора. Что наблюдаете? Опыт продолжайте до вступления в реакцию всей серы.

Налейте в одну пробирку воды, в другую 20%-ный раствор щелочи, а в третью поместите немного серы. Добавьте в каждую из пробирок немного хлоридов серы. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Поставьте пробирку с хлоридами серы в стакан со льдом и водой, добавьте ~0,1 г восстановленного железа и пропустите сильный ток хлора (см. рис. 60). Как меняется окраска жидкости? Что происходит при добавлении полученного вещества к воде и раствору щелочи?

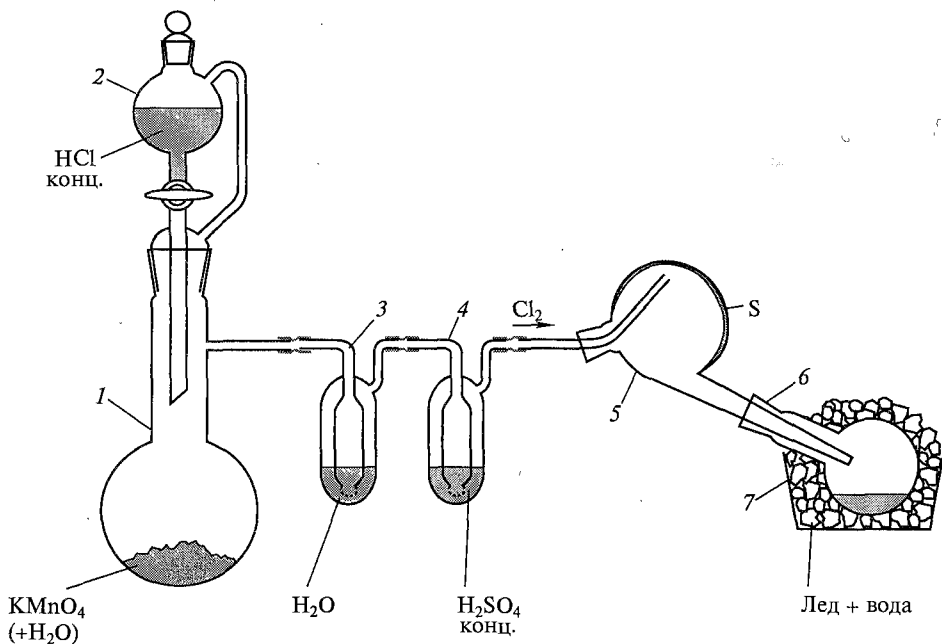


Рис. 76. Прибор для получения хлоридов селену:

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3, 4 — промывалки; 5 — реторта; 6 — колба-приемник; 7 — баня со льдом и водой

Смесь хлоридов вылейте в маленькую фарфоровую чашку и оставьте на некоторое время в вытяжном шкафу. Что происходит? Напишите уравнения реакций.

Получение серной кислоты нитрозным способом

Соберите в вытяжном шкафу прибор (рис. 77). Промывалку 3 заполните концентрированной серной кислотой, а промывалку 7 — концентрированной азотной кислотой. В колбу Вюрца 1 поместите 30 г сульфата натрия и смочите его водой, в капельную воронку 2 налейте концентрированную серную кислоту. В колбу Вюрца 9 внесите 3—5 г медных стружек, а в капельную воронку 8 — концентрированную азотную кислоту.

Приоткройте кран капельной воронки 8 и осторожно, по каплям, приливайте азотную кислоту к медным стружкам в колбе Вюрца 9. Как только колба 4 заполнится диоксидом азота (окраска должна быть достаточно интенсивной), закройте кран воронки 8, приоткройте кран воронки 2 и начните прибавлять по каплям серную кислоту в колбу 1. Следите за изменением окраски и выпадением кристаллов на стенках колбы 4. Прилейте в нее с помощью мерной пипетки с делениями 2—3 мл воды через трубку 6 и ополосните ею стенки колбы. Что происходит с кристаллами? Какой газ заполняет колбу теперь?

С помощью груши 5 прокачайте немного воздуха через колбу 4, наблюдая изменение окраски газа. Вновь пропустите ток сернистого газа в колбу 4 и повторите несколько раз цикл окисления сернистого газа, приливая при необходимости воду через трубку 6 и восполняя потери диоксида азота.

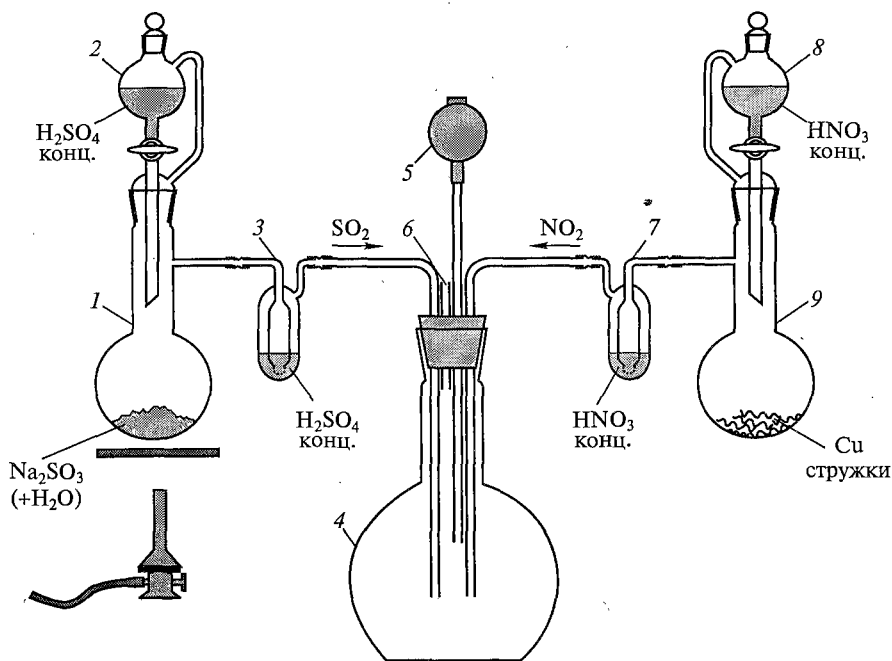


Рис. 77. Прибор для получения серной кислоты нитрозным способом:

1, 9 — колбы Вюрца; 2, 8 — капельные воронки; 3, 7 — промывалки; 4 — колба реакционная; 5 — груша; 6 — трубка

После прекращения выделения сернистого газа из колбы Вюрца 1 ополосните колбу 4 еще 2—3 мл воды и вылейте жидкость в стакан. Докажите, что получился раствор серной кислоты. Напишите уравнения всех происходящих процессов.

Какую роль играет оксид азота(IV) в процессе получения серной кислоты? Кристаллы какого состава оседают на стенках колбы? Какие примеси находятся в серной кислоте? Какие существуют технические способы получения серной кислоты? Каким способом можно получить наиболее чистую серную кислоту?

Выделение пентагидрата сульфата меди из продуктов взаимодействия серной кислоты с медью

Налейте в химический стакан 20—30 мл воды и перенесите в него смесь, оставшуюся в колбе Вюрца после завершения реакции серной кислоты с медью в опыте по получению сернистого газа (см. подразд. 13.4).

Нагрейте содержимое стакана до 70—80 °С и осторожно профильтруйте через стеклянный пористый фильтр, фильтрат упарьте на водяной бане до появления кристаллической пленки на поверхности жидкости и оставьте кристаллизоваться при естественном охлаждении.

Каплю горячего раствора перенесите на предметное стекло, прикройте ее покровным стеклом и рассмотрите кристаллы под микроскопом. Кристаллы, образовавшиеся в чашке, отделите на стеклянном пористом фильтре, промойте небольшим количеством ледяной воды, перенесите на стекло и просушите

на воздухе при комнатной температуре. Поместите немного пентагидрата сульфата меди в тигель и нагрейте сначала слабо, а затем сильно. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

ГЛАВА 14

АЗОТ

14.1. Аммиак

(Аммиак и оксиды азота (кроме закиси азота) раздражающе действуют на дыхательные пути. Вдыхание паров оксидов азота может вызвать отек легких. Работу с этими веществами необходимо вести только в вытяжном шкафу!)

Реакции получения аммиака и свойства аммиака

1. Приготовьте смесь из 1—2 г хлорида аммония и 1—2 г гашеной извести (гидроксида кальция). Обнаруживается ли при этом образование аммиака? Перенесите смесь в пробирку и подогрейте ее. Поднесите к пробирке полоску фильтровальной бумаги, смоченную концентрированной соляной кислотой. Что наблюдаете?

2. Налейте в пробирку 2 мл разбавленного раствора аммиака и нагрейте. Поднесите к пробирке смоченную водой полоску бумаги с универсальным индикатором.

Как сдвигается равновесие «аммиак—вода» при изменении температуры?

3. Налейте в пробирку 2 мл 25%-ного раствора аммиака и опустите в него небольшой кусочек гидроксида натрия. Что происходит?

Напишите уравнения реакций.

Объясните выделение аммиака из раствора при добавления твердой щелочи. Почему водный раствор аммиака является слабым электролитом? Какими способами получают аммиак в промышленности? Напишите уравнения реакций.

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

Соберите прибор (рис. 78). Колбу Вюрца 1 заполните примерно на $\frac{1}{3}$ ее объема гранулированным гидроксидом натрия (калия), в капельную воронку 2 налейте концентрированный раствор аммиака не более $\frac{2}{3}$ ее объема. (При работе со щелочью наденьте очки!) Медленно (по каплям) приливайте раствор аммиака к гранулированной щелочи и установите ровный ток аммиака. Заполните аммиаком толстостенную склянку емкостью 50—100 мл.

Закройте склянку резиновой пробкой с оттянутой трубкой, обращенной капилляром внутрь склянки, и опустите конец капиллярной трубки в кристаллизатор с водой (см. рис. 64, б) Что наблюдается через некоторое время? Рассчитайте концентрацию получившегося раствора аммиака в предположении, что объем аммиака был поглощен равным объемом воды. Определите рН раствора с помощью универсальной индикаторной бумаги.

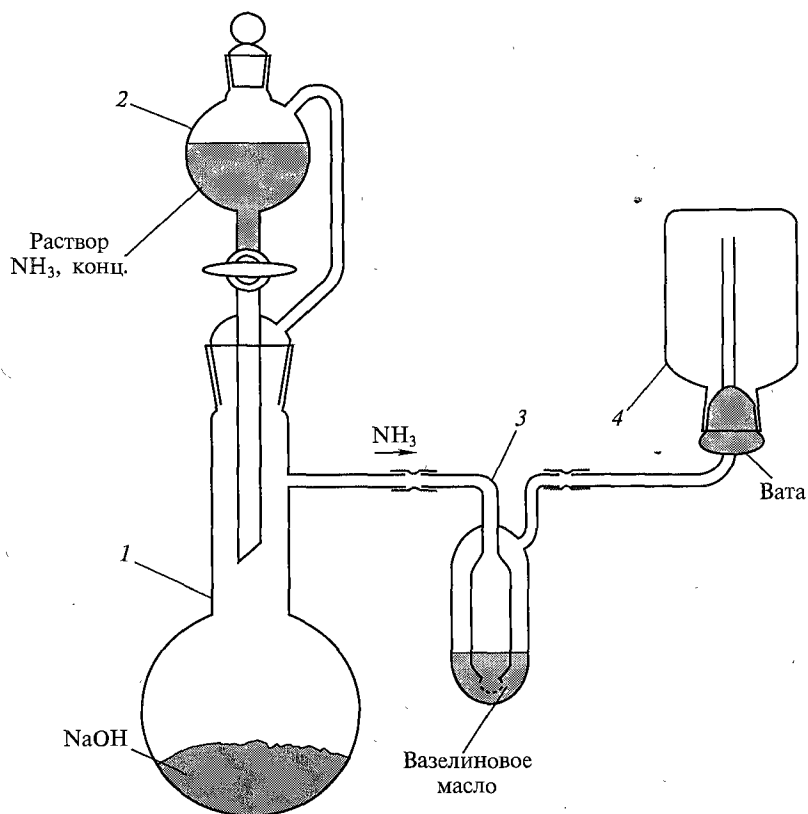


Рис. 78. Прибор для получения аммиака:

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — промывалка — счетчик пузырьков; 4 — толстостенная склянка

Как установить, что склянка заполнилась аммиаком? Какое равновесие устанавливается в растворе аммиака? Напишите уравнение соответствующей реакции и выражение для K_b .

14.2. Соли аммония

Аммонийные соли фосфорной кислоты. Поместите в маленький тигель несколько кристаллов одной из аммонийных солей фосфорной кислоты и нагрейте. Поднесите к тиглю смоченную водой полоску универсальной индикаторной бумаги. Как изменился цвет индикатора? Какой газ выделяется при разложении соли? Какое вещество осталось в тигле после нагревания?

Сульфат аммония. Положите в маленький тигель несколько кристаллов сульфата аммония и прокалите. Поднесите к тиглю во время прокаливания полоску фильтровальной бумаги, смоченную подкисленным раствором перманганата калия и смоченную водой полоску универсальной индикаторной бумаги. Как изменяется окраска индикаторов? Какие газы выделяются при прокаливании соли?

Нитрат аммония. В маленьком фарфоровом тигле прокалите несколько кристаллов нитрата аммония. Что наблюдаете?

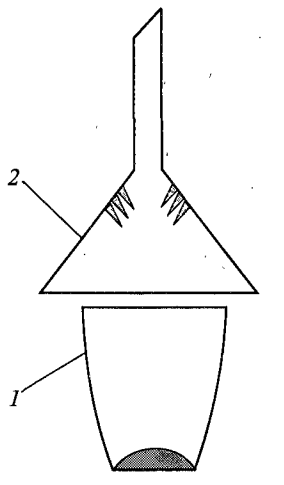


Рис. 79. Возгонка хлорида аммония:
1 — тигель фарфоровый;
2 — воронка

Хлорид аммония. А. Поместите 0,2—0,5 г хлорида аммония в фарфоровый тигель 1 и закрепите над ним перевернутую воронку 2 (рис. 79). Нагрейте тигель. Что наблюдаете? Рассмотрите форму возогнанных кристаллов под микроскопом и сравните с формой исходных кристаллов. Б. Поместите в пробирку 0,2—0,3 г хлорида аммония. Нагрейте вещество и поднесите к пробирке полоску универсальной индикаторной бумаги, смоченную водой. Как изменяется окраска индикатора при возгонке хлорида аммония?

Карбонат аммония. Поместите 0,2—0,3 г карбоната аммония в фарфоровый тигель с установленной над ним перевернутой химической воронкой и нагрейте (см. рис. 79). Что наблюдаете?

Напишите уравнения реакций.

Чем объясняется разный характер разложения аммонийных солей при нагревании? Какие соли аммония возгоняются? Как доказать экспериментально, что использованные соли являются солями аммония?

14.3. Свойства гидразина и гидроксилamina

1. В две пробирки налейте по 5 мл воды и внесите в них по две—три капли гидразина, гидразингидрата или несколько кристаллов хлорида гидразиния. В одну пробирку прибавьте несколько капель иодной воды. Что наблюдаете? В другую пробирку добавьте растворы хлорида меди(II) и 20%-ной щелочи. Осторожно нагрейте содержимое пробирки. Что происходит?

2. Растворите несколько кристаллов хлорида гидроксилamina в 4—5 мл воды и разлейте в две пробирки. Испытайте раствор индикаторной бумагой. В одну пробирку прилейте несколько капель иодной воды, а в другую несколько капель подкисленного раствора перманганата или дихромата калия. Что происходит?

3. Налейте в пробирку 3 мл фиолетового солянокислого раствора хлорида титана(III) и внесите в нее несколько кристаллов сульфата или хлорида гидроксилamina. Как изменяется окраска раствора?

Напишите уравнения реакций.

Какое строение имеют гидразин, гидразингидрат, сульфат гидразина и гидроксилamin? Какими свойствами обладают эти соединения?

14.4. Оксиды азота

(Опыты проводите в вытяжном шкафу!)

Оксид азота(I)

Поместите в пробирку 1—2 г нитрата аммония и осторожно нагрейте. Внесите в пробирку тлеющую лучинку. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Как отличить оксид азота(I) от кислорода? Какими свойствами обладает этот оксид?

Оксид азота(II)

Получение оксида азота(II) действием разбавленной азотной кислоты на медь. Соберите прибор (рис. 80, а). В промывалку 3 налейте 10%-ный раствор щелочи. Поместите в колбу Вюрца 1 емкостью 250 мл 5 г медных стружек, а в капельную воронку 2 налейте 20—30 мл 33%-ного раствора азотной кислоты, не более $\frac{2}{3}$ ее объема. Медленно приоткройте кран капельной воронки и постепенно прикапывайте в колбу азотную кислоту для получения ровного тока оксида азота(II).

Получение оксида азота(II) восстановлением нитрита калия (натрия). Соберите прибор, изображенный на рис. 80, б. Растворите 15 г нитрита калия (натрия) и 7,5 г иодида калия в 75 мл воды, раствор перелейте в колбу Вюрца 1. В капельную воронку 2 налейте 50%-ный раствор серной кислоты.

Чем объясняется появление окраски газов в колбе? Растворяется ли оксид азота(II) в воде и щелочи? Что образуется в промывалке в проведенных опытах?

Свойства оксида азота(II).

1. Соберите оксид азота(II) в пробирку под водой. Откройте пробирку. Что наблюдаете?

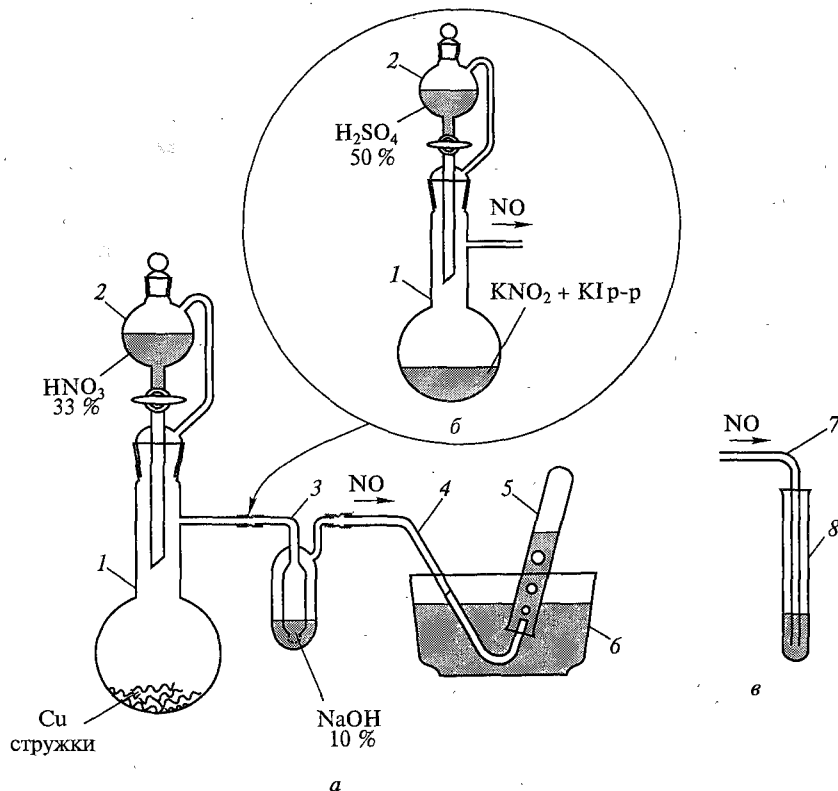


Рис. 80. Прибор для получения оксида азота(II):

а — действием разбавленной азотной кислоты на медь; б — восстановлением нитрита иодидом в кислой среде; в — пропусканием оксида азота(II) через раствор концентрированной азотной кислоты; 1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — промывалка; 4, 7 — газоотводные трубки; 5, 8 — пробирки; 6 — кристаллизатор

2. Замените газоотводную трубку 4 на трубку 7 и пропустите ток оксида азота(II) через пробирку с 2—3 мл слегка нагретого раствора концентрированной азотной кислоты (рис. 80, в). Что наблюдаете?

3. Налейте в пробирку 8 3—5 мл свежеприготовленного насыщенного раствора соли Мора (раствор должен быть бесцветным). Пропустите через раствор ток оксида азота(II). Как изменяется окраска раствора? Раствор подогрейте. Что наблюдаете?

Напишите уравнения реакций.

Сделайте вывод о том, какими свойствами обладает оксид азота(II). Какой состав имеет соль Мора?

Оксид азота(III)

Соберите прибор (рис. 81). Заполните U-образную трубку 3 оксидом фосфора(V), нанесенным на стеклянную вату, вторую пустую U-образную трубку-приемник 4 погрузите в охлаждающую смесь (лед и хлорид натрия). На дно колбы Вюрца 1 положите 1—2 г крахмала, в капельную воронку 2 налейте 5—10 мл 50%-ного раствора азотной кислоты. Выдержите предварительно приемник 4 в бане 6 10—15 мин.

Приливая по каплям азотную кислоту к крахмалу, наблюдайте за конденсацией жидкости в U-образной трубке-приемнике 4. Если реакция не происходит, осторожно подогрейте колбу с реакционной смесью. Какой цвет имеет жидкость в приемнике?

Вылейте жидкость из приемника в пробирку с кусочками льда. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

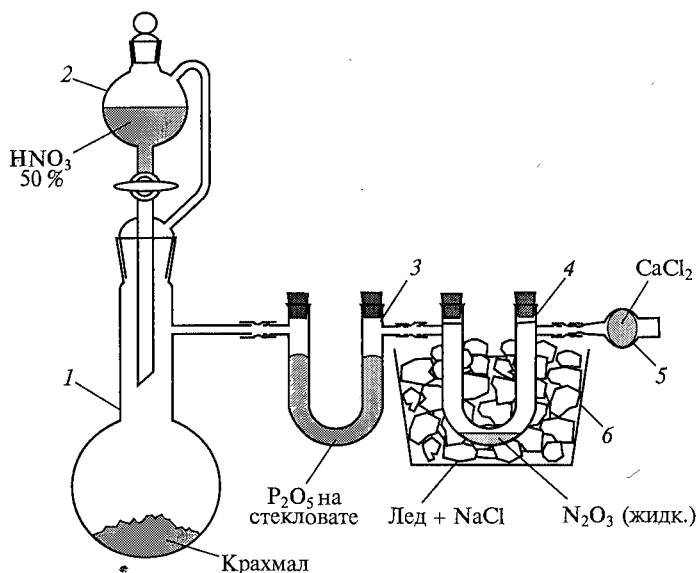


Рис. 81. Прибор для получения оксида азота(III):

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — U-образная трубка с оксидом фосфора(V) на стекловате; 4 — U-образная трубка-приемник; 5 — хлоркальциевая трубка; 6 — баня со льдом и NaCl

Оксид азота(IV)

1. Соберите прибор (рис. 82). Положите в колбу 1 Вюрца 1—2 г медных стружек и закройте ее пробкой с капельной воронкой 2. В капельную воронку налейте 10—20 мл концентрированной азотной кислоты.

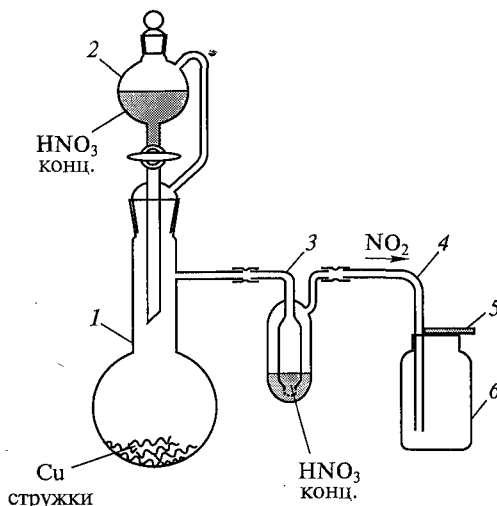


Рис. 82. Прибор для получения оксида азота(IV):

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка;
3 — промывалка с азотной кислотой; 4 —
газоподводящая трубка; 5 — стекло; 6 —
склянка

Осторожно прикапывайте из капельной воронки азотную кислоту в колбу 1. Что наблюдаете? Заполните оксидом азота(IV) склянку 6, прикрытую стеклом 5.

Внесите в баночку тлеющую лучинку. Что наблюдаете?

Какие оксиды азота образуются в процессе реакции с медью по мере расходования и уменьшения концентрации азотной кислоты?

2. Соберите прибор (рис. 83). Заполните U-образную трубку (или колонку) 2 фосфорным ангидридом, нанесенным на стеклянную вату. В пробирку 1 поме-

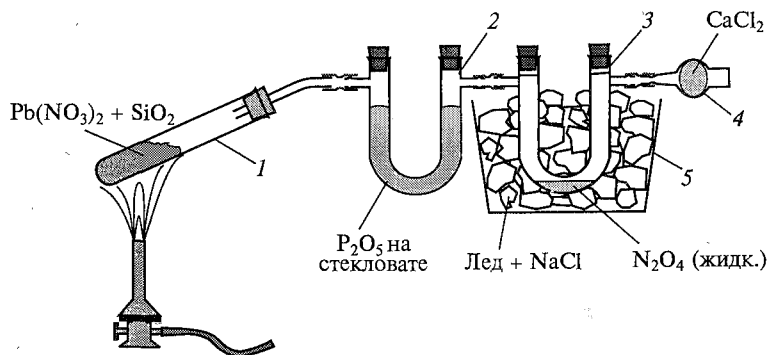


Рис. 83. Прибор для получения оксида азота(IV):

1 — пробирка из тугоплавкого стекла; 2 — U-образная трубка с оксидом фосфора(V) на стекло-
вате; 3 — U-образная трубка-приемник; 4 — хлоркальциевая трубка; 5 — баня с охлаждающей
смесью

стите смесь, состоящую из 5—7 г нитрата свинца и 1—2 г сухого песка. Погрузите пустую U-образную трубку-приемник 3 в баню 5 с охлаждающей смесью (лед и хлорид натрия).

Нагрейте пробирку 1 с нитратом свинца. Что наблюдаете? Какого цвета конденсируется жидкость в приемнике 3? Отсоедините приемник 3 от прибора и быстро вылейте полученную жидкость в пробирку с кусочками льда. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Как можно объяснить легкость димеризации оксида азота(IV)?

14.5. Получение и свойства азотистой кислоты

1. Растворите 0,3 г нитрита калия в 2—3 мл воды, охладите раствор в бане со льдом и прибавьте к нему 2—3 мл охлажденной во льду 30%-ной серной кислоты. Что наблюдаете?

2. Налейте в пробирку 2—3 мл раствора нитрита калия, подкислите его разбавленной серной кислотой и добавьте несколько капель разбавленного раствора перманганата калия. Что происходит? Проведите аналогичный опыт с раствором дихромата калия.

3. К 2—3 мл подкисленного раствора иодида калия добавьте несколько капель крахмала и раствора нитрита калия. Что наблюдаете? Проведите аналогичный опыт с раствором нитрата калия вместо нитрита калия.

4. К подкисленному раствору 2—3 мл бромиды калия добавьте несколько капель нитрита калия и несколько капель тетрахлорида углерода или бензола и энергично встряхните. Что наблюдаете?

Напишите уравнения реакций.

Сравните окислительную способность азотной и азотистой кислот равной концентрации. Чем объясняется различная устойчивость азотной и азотистой кислот?

14.6. Азотная кислота и ее соли

(Азотная кислота является сильным окислителем. Органические вещества при взаимодействии с концентрированной кислотой могут воспламеняться. Пары азотной кислоты раздражающе действуют на дыхательные пути, могут вызвать отек легких. 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)!)

Получение дымящей азотной кислоты из нитрата натрия

Соберите прибор (рис. 84). В реторту 1 поместите 20 г нитрата натрия и прилейте 20 мл 96%-ного раствора серной кислоты. Закройте тубус реторты асбестовой пробкой 2. Баню 4 для охлаждения колбы-приемника 3 заполните льдом (снегом) с водой.

Осторожно нагрейте реторту в пламени горелки (не перегревайте!). Что происходит? При образовании в реторте большого количества пены или появления бурых паров ослабьте нагревание. Когда в приемнике 3 соберется 10—15 мл азотной кислоты, уберите горелку.

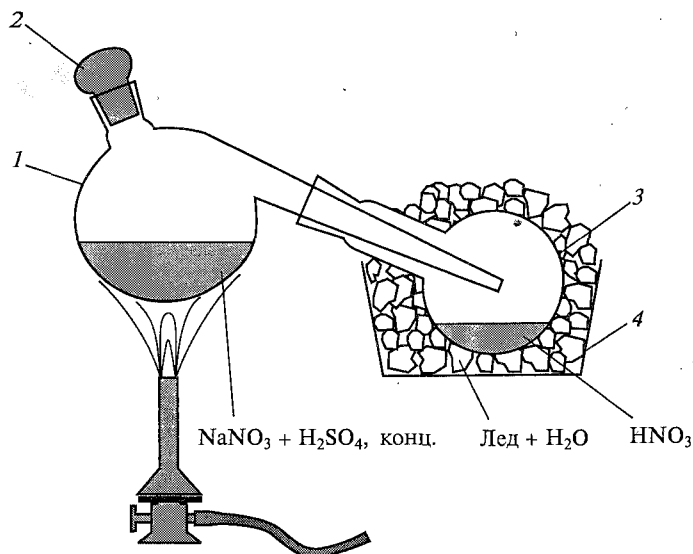


Рис. 84. Прибор для получения дымящей азотной кислоты:

1 — реторта; 2 — асбестовая пробка; 3 — колба-приемник; 4 — баня со льдом и водой

Вылейте полученную дымящую азотную кислоту в мерный цилиндр и определите ее объем. Перелейте кислоту в колбу известной массы с притертой пробкой и взвесьте с точностью $\pm 0,1$ г. Рассчитайте плотность кислоты и по плотности найдите ее процентную концентрацию (см. табл. П2.11). Определите выход в процентах относительно взятого количества нитрата натрия. Напишите уравнение реакции. Полученную дымящую азотную кислоту используйте в опытах по изучению ее свойств.

Какого цвета пары азотной кислоты? Чем объяснить появление бурых паров в реторте? Почему для получения концентрированного раствора азотной кислоты берут сухой нитрат натрия и концентрированный раствор серной кислоты? Почему необходимо реакционную смесь нагревать, но осторожно? Каковы температуры кипения серной и азотной кислот? Каков состав азеотропной смеси азотной кислоты с водой?

Свойства азотной кислоты.

Свойства дымящей азотной кислоты

(Наденьте маску или очки!)

1. Налейте в фарфоровую чашку 1—2 мл свежеприготовленной дымящей азотной кислоты. Добавьте одну—две капли концентрированной серной кислоты и осторожно прибавьте к смеси при помощи длинной трубки или пипетки две—три капли скипидара. Что наблюдаете?

2. Налейте в пять пробирок по 1—2 мл кислоты и проведите следующие опыты.

А. Первую пробирку закрепите вертикально в лапке штатива и, подогревая кислоту, опустите в нее тлеющую лучинку. Что происходит?

Б. Во вторую 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.

В. Третью пробирку с азотной кислотой нагрейте и внесите в нее кусочек шерсти. Что наблюдаете?

Г. Пропустите ток сероводорода (см. подразд. 13.2) через азотную кислоту, находящуюся в четвертой пробирке. Что наблюдаете?

Д. В пятую пробирку с азотной кислотой внесите небольшое количество сульфида меди. Что происходит?

Как объяснить растворение сульфида меди в азотной кислоте?

3. Налейте в две маленьких фарфоровых чашки по 1—2 мл дымящей азотной кислоты и испытайте ее действие на цинк и олово. Реакцию ведите при слабом нагревании.

Напишите уравнения реакций.

Свойства разбавленной азотной кислоты

Возьмите две пробирки, в одну из них поместите два—три кусочка цинка, в другую — такое же количество олова. Прилейте в обе пробирки по 5 мл 2%-ного раствора азотной кислоты и оставьте до следующего занятия. Как определить, что в данных условиях образовались соли аммония? Проведите соответствующие реакции. Напишите уравнения реакций.

Как изменяется состав продуктов реакции азотной кислоты с металлами в зависимости от их активности и концентрации азотной кислоты? Какие концентрации имеют дымящая и концентрированная азотная кислота?

«Царская водка»

Смешайте 1 мл концентрированной азотной кислоты с 3 мл концентрированной соляной кислоты. Как изменяется окраска раствора при стоянии? Испытайте действие «царской водки» на осадки сульфидов свинца и сурьмы(III). Напишите уравнения реакций.

Что происходит при смешении концентрированных азотной и соляной кислот? Почему «царская водка» более сильный окислителем, чем азотная кислота? Напишите реакцию взаимодействия сульфида ртути с «царской водкой».

Термическая устойчивость нитратов

1. Поместите в фарфоровый тигель около 0,5 г нитрата калия и нагрейте на горелке до расплавления соли, а затем до более высокой температуры. Что наблюдаете? После застывания плава растворите его в воде. Определите pH раствора с помощью индикаторной бумаги. Добавьте полученный раствор к подкисленному серной кислотой раствору иодида калия. Что наблюдаете? Каков состав расплава?

2. В фарфоровом тигле прокалите несколько кристаллов нитрата кальция. После охлаждения растворите содержимое тигля в небольшом количестве воды (~5 мл). Определите pH раствора индикаторной бумагой. Добавьте полученный раствор к подкисленному серной кислотой раствору иодида калия. Что наблюдаете?

Каков состав продуктов прокаливания?

3. В фарфоровый тигель поместите несколько кристаллов нитрата меди(II) и прокалите в пламени газовой горелки. Как изменяется цвет вещества при прокаливании? Какой газ выделяется? Что осталось в тигле?

Напишите уравнения реакций.

1. Какие продукты образуются при прокаливании нитрата серебра? Напишите уравнение реакции.

2. Чем объясняется разный характер термического распада солей азотной кислоты?

14.7. Синтезы по теме «Азот»

Сжижение аммиака и изучение его свойств

(Опыт проводите в вытяжном шкафу под наблюдением преподавателя!)

Соберите прибор для получения аммиака (см. рис. 78), но только после промывки с вазелиновым маслом подсоедините колонку с гранулированным гидроксидом калия для осушения газообразного аммиака и охлаждаемый приемник для сжижения аммиака. *(При работе со щелочью наденьте очки!)* Колбу Вюрца 1 заполните на $\frac{1}{3}$ ее объема гранулированной щелочью, в капельную воронку 2 налейте концентрированный раствор аммиака (не более $\frac{2}{3}$ ее объема). Охладите приемник смесью сухого льда и ацетона. *(Огнеопасно! Работайте вдали от огня!)*.

Приливайте по каплям концентрированный раствор аммиака из капельной воронки 2 к щелочи в колбе Вюрца 1, следя за тем, чтобы выделение аммиака было не слишком интенсивным. Когда в предварительно охлажденном приемнике соберется 5—6 мл жидкого аммиака, отсоедините приемник от прибора. Опустите в жидкий аммиак платиновые электроды пробника с лампочкой и батарейкой. Что наблюдаете?

Выньте электроды пробника и опустите в жидкий аммиак небольшой кусочек величиной с горошину чистого металлического натрия, тщательно осушенного фильтровальной бумагой. Что наблюдаете? Снова введите электроды пробника в жидкий аммиак. Как изменилась электропроводность раствора после растворения натрия?

Дайте аммиаку испариться. Какое вещество осталось в приборе? Не мойте прибор водой. Сдайте его лаборанту!

1. Какие вещества следует использовать для высушивания аммиака? При какой температуре сжимается аммиак? Чем объясняется использование аммиака в холодильных машинах?

2. Как объясняется появление окраски жидкого аммиака при растворении в нем натрия?

Нитрозилсерная кислота (гидросульфат нитрозония)

Соберите прибор (см. рис. 74, б) для получения осушенного оксида серы(IV) действием концентрированной серной кислоты на сульфит натрия. Поместите в стакан емкостью 100 мл 2—3 мл дымящей азотной кислоты, полученной в опыте (подразд. 14.6). Пропустите над поверхностью кислоты ток оксида серы(IV) из газоотводной трубки 7 прибора до полного выпадения кристаллов при постоянном перемешивании стеклянной палочкой содержимого стакана. Кри-

таллическое вещество просушите на стеклянном пористом фильтре, закрытом листом вакуумной резины (см. рис. 39, в), и быстро перенесите в стеклянный бюкс. Часть кристаллов растворите в воде, что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Внесите в пробирку ~0,5 г гидросульфата нитрозила и растворите в минимальном количестве серной кислоты. Поместите в раствор полоску медной фольги и выдержите не менее часа. Что наблюдаете?

Хлорид нитрозила

Получение хлорида нитрозила из нитрита натрия и оксохлорида фосфора(V). Соберите прибор (рис. 85). На дно маленькой пробирки Вюрца 1 поместите 2—3 г нитрита натрия и прилейте 2—3 мл оксохлорида фосфора(V), предварительно полученного по методике, приведенной в подразд. 36.3. Пробирку-приемник 3 охладите в бане с охлаждающей смесью льда с хлоридом натрия 4.

Осторожно нагрейте содержимое пробирки 1 на водяной бане 2 и отгоните образовавшийся хлорид нитрозила в приемник 3. Напишите уравнение реакции.

Получение хлорида нитрозила из нитрозилсерной кислоты и хлорида натрия. Поместите в прибор (рис. 85) 2—3 г стехиометрической смеси нитрозилсер-

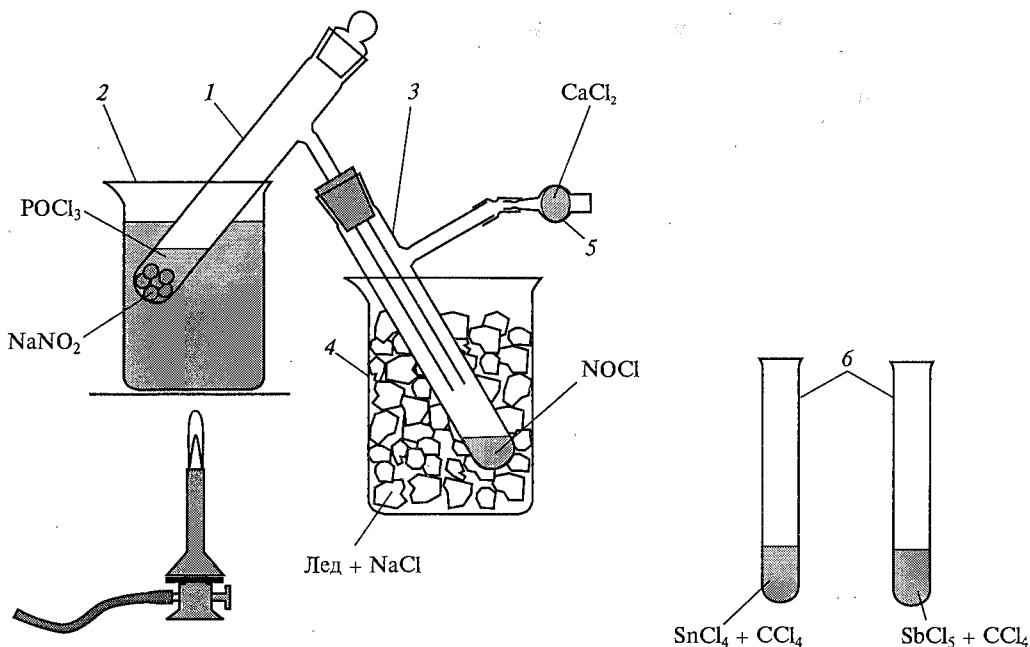


Рис. 85. Прибор для получения хлорида нитрозила:

1 — пробирка Вюрца; 2 — водяная баня; 3 — пробирка-приемник; 4 — баня со льдом и хлоридом натрия; 5 — хлоркальциевая трубка; 6 — пробирки с растворами тетрахлорида олова и пентахлорида сурьмы в тетрахлориде углерода

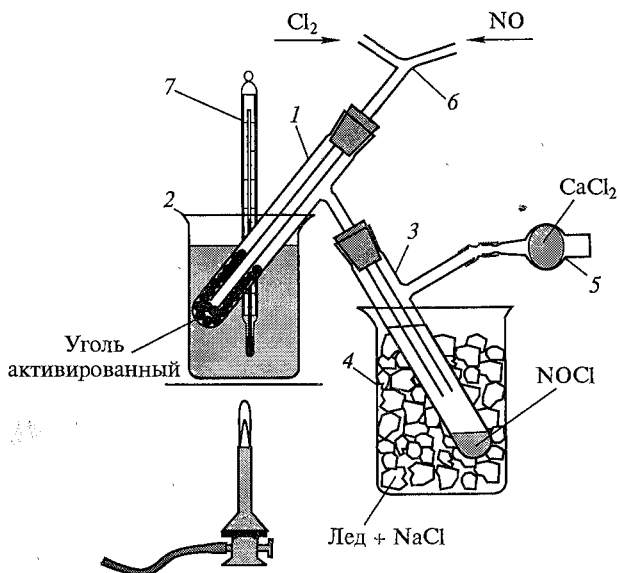


Рис. 86. Прибор для получения хлорида нитрозила:

1 — пробирка Вюрца; 2 — водяная баня; 3 — приемник; 4 — баня со льдом и хлоридом натрия; 5 — хлоркальциевая трубка; 6 — тройник; 7 — термометр

ной кислоты и тонкоизмельченного хлорида натрия. Нагрейте пробирку Вюрца 1 с реакционной смесью на водяной бане и отгоните образовавшийся хлорид нитрозила в приемник 3, охлаждаемый смесью льда с хлоридом натрия.

Получение хлорида нитрозила из оксида азота(II) и хлора. Соберите прибор (рис. 86). Подсоедините к нему прибор для получения сухого хлора (см. рис. 60) и прибор для получения сухого оксида азота(II) (см. рис. 80). В реакционную пробирку Вюрца 1 поместите слой свежeproкаленного в вакууме активированного угля. Погрузите приемник 3 в охлаждающую смесь льда с хлоридом натрия.

Нагрейте водяную баню до 50°C . Вначале вытесните воздух из прибора током сухого оксида азота(II), а затем начните пропускать хлор. Выравняйте потоки хлора и оксида азота(II) в соответствии со стехиометрическими коэффициентами реакции. Какое вещество собирается в приемнике? Напишите уравнение реакции.

Свойства хлорида нитрозила.

1. Небольшое количество хлорида нитрозила прилейте в пробирку 6 (см. рис. 85) с раствором хлорида олова(IV) или хлорида сурьмы(V) в тетра-хлориде углерода. Что происходит? Тетрахлорид олова можно синтезировать по методике подразд. 19.6, а пентахлорид сурьмы по методике, описанной в подразд. 16.8.

2. Несколько капель полученного хлорида нитрозила добавьте к небольшому количеству воды. Что образуется в растворе? Добавьте несколько капель иодида калия. Что наблюдаете?

Напишите уравнения реакций.

15.1. Фосфор и его свойства

(Все опыты с белым и красным фосфором, а также с фосфином необходимо проводить только в вытяжном шкафу!)

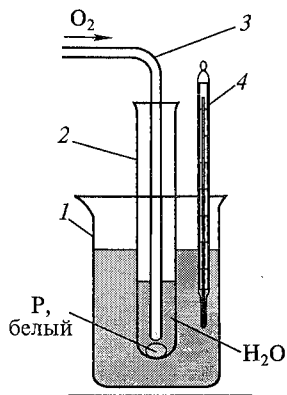
Белый фосфор ядовит и легко воспламеняется. Работа с ним требует особой осторожности. Белый фосфор разрешается брать только пинцетом. К месту проведения опыта белый фосфор следует переносить только в фарфоровой чашке или ступке под водой.

Ожоги, вызываемые фосфором, очень опасны. В случае попадания белого фосфора на кожу, необходимо тотчас же удалить его и промыть обожженное место 2%-ным раствором нитрата серебра, сульфата меди или перманганата калия.

После проведения опытов с красным фосфором посуду следует погрузить на некоторое время в 10%-ный раствор сульфата меди, после чего вымыть обычным способом. Остатки белого фосфора рекомендуется гасить бромной водой.)

Получение белого фосфора

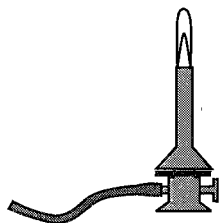
Положите на дно пробирки небольшое количество сухого красного фосфора, закройте пробирку сверху кусочком ваты и закрепите наклонно в лапке штатива. Осторожно нагрейте фосфор пламенем горелки (в вытяжном шкафу!). Что происходит? Поместите пробирку в темное место для наблюдения свечения фосфора.



Каковы условия перехода белого фосфора в красный и обратно? Какие существуют еще аллотропические модификации фосфора? Как они могут быть получены?

Воспламеняемость фосфора

(Опыт проводите в вытяжном шкафу!) Положите на один край железной пластинки, помещенной на кольцо штатива, небольшое количество сухого красного фосфора, а на другой край — маленький кусочек белого фосфора. Нагрейте горелкой пластинку ближе к тому краю, где находится красный фосфор. Что происходит? Напишите уравнение реакций.



Горение белого фосфора под водой

Рис. 87. Горение белого фосфора под водой:

1 — стакан с водой; 2 — пробирка; 3 — газоподводящая трубка; 4 — термометр

(Опыт проводите под наблюдением преподавателя!) Налейте 10—15 мл дистиллированной воды в широкую пробирку 2 (рис. 87), погрузите ее в стакан с водой 1 и закрепите в лапке штатива. Опустите маленький кусочек белого фосфора в пробирку 2 с во-

дой и нагрейте воду в стакане, фиксируя ее температуру термометром 4, на 30—40 °С выше температуры плавления белого фосфора. Отрегулируйте ток кислорода из газометра или кислородной подушки так, чтобы можно было считать отдельные пузырьки выделяющегося кислорода соприкасались с расплавленным фосфором. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Напишите уравнения реакций нейтрализации белого фосфора сульфатом меди, перманганатом калия, нитратом серебра и бромной водой.

15.2. Фосфористый ангидрид и фосфористая кислота

Получение фосфористого ангидрида и фосфористой кислоты

Соберите прибор (рис. 88). В промывалку 1 налейте вазелинового масла, U-образную трубку 2 заполните гранулированным хлоридом кальция, а в трубку 5 поместите фильтр из стеклянной или хлопковой ваты для улавливания аэрозольных частиц оксида фосфора(III). Лодочку 4 с белым фосфором поместите в трубку из тугоплавкого стекла 3 ближе к ее левому краю. Присоедините U-образную трубку 5 к водоструйному насосу. Выньте левую пробку (см. рис. 88) из реакционной трубки 3, подожгите белый фосфор в лодочке 4 прикосновением нагретой стеклянной палочки и вновь закройте трубку 3 пробкой. Включите водоструйный насос и пропустите через прибор слабый ток воздуха. Горение фосфора должно происходить в условиях недостатка кислорода. Когда весь фосфор прореагирует, смойте фосфористый ангидрид, осевший на стенках трубки 3, небольшим количеством дистиллированной воды (5—10 мл). Промойте небольшим количеством воды фильтр в U-образной трубке 5. Полученные растворы из U-образной трубки 5 и реакционной трубки 3 объедините и используйте для проведения опытов по исследованию свойств фосфористой кислоты.

Свойства фосфористой кислоты

Полученный раствор фосфористой кислоты разделите на три части.

1. Первую часть раствора нейтрализуйте содой до слабокислой реакции и добавьте несколько капель раствора нитрата серебра. Что наблюдаете? Нагрейте жидкость с осадком. Что происходит?

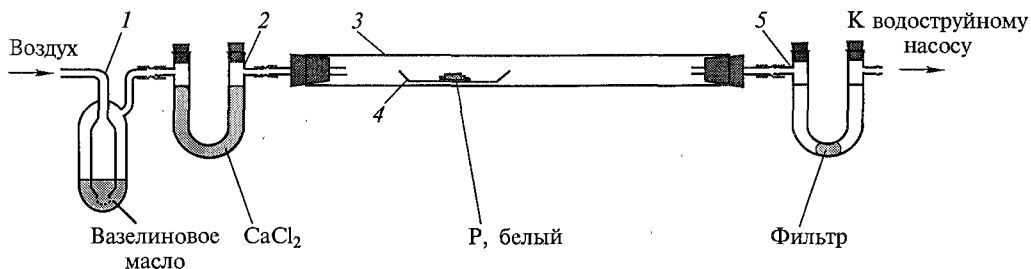


Рис. 88. Прибор для получения оксида фосфора(III):

1 — промывалка с вазелиновым маслом; 2 — U-образная трубка с хлоридом кальция; 3 — трубка реакционная; 4 — лодочка с белым фосфором; 5 — U-образная трубка с фильтром из стеклянной или хлопковой ваты

2. Ко второй части раствора прибавьте несколько капель разбавленного раствора перманганата калия. Что происходит?

3. Третью часть раствора фосфористой кислоты поместите в фарфоровую чашку и сначала упарьте досуха, а затем прогрейте на песчаной бане в вытяжном шкафу. Что наблюдаете?

Напишите уравнения реакций.

На какие свойства фосфористой кислоты указывают проведенные реакции? Какова основность фосфористой кислоты? Изобразите схему строения фосфористой кислоты. Какие координационные числа проявляет фосфор в своих соединениях?

15.3. Фосфорный ангидрид

(Наденьте очки!) Небольшое количество оксида фосфора(V) поместите в стеклянный стакан и оставьте стоять до конца занятия. Другую часть небольшими порциями внесите в стакан с водой (в вытяжном шкафу!). Что происходит? Испытайте раствор индикаторной бумагой. Полученные растворы сохраните для дальнейших экспериментов (см. подразд. 15.4 и 15.5).

Напишите уравнения реакций.

Какова устойчивость фосфорного ангидрида на воздухе? Какова эффективность осушающего действия фосфорного ангидрида? Сравните с другими осушителями (см. табл. 4).

15.4. Метафосфорная кислота

Получение метафосфорной кислоты

1. Получение из фосфорного ангидрида (см. подразд. 15.3).

2. Поместите в фарфоровую чашку 3 мл концентрированного раствора ортофосфорной кислоты. Нагреванием на песчаной бане упарьте ее до сиропообразной консистенции, после чего прогрейте при 350 °С (см. рис. 13, б).

Свойства метафосфорной кислоты и ее солей

1. Налейте в пробирку 1 мл водного раствора белка и прибавьте к нему примерно такое же количество раствора метафосфорной кислоты в буферном растворе ацетата натрия и уксусной кислоты. Что наблюдаете?

2. Прилейте в пробирку с 1 мл метафосфата натрия 1 мл раствора сульфата натрия, а затем по каплям добавьте раствор хлорида бария. Что наблюдаете при постепенном прибавлении хлорида бария?

Происходит ли сразу выпадение осадка сульфата бария? Объясните наблюдаемые явления.

3. К раствору метафосфата натрия прибавьте несколько капель нитрата серебра. Что наблюдаете?

Каково строение метафосфорной кислоты? Почему устойчива форма триметафосфата?

15.5. Пирофосфорная кислота

Получение пирофосфорной кислоты

Поместите в фарфоровую чашку 3 мл концентрированной ортофосфорной кислоты. Нагреванием на песчаной бане упарьте жидкость до сиропообразной консистенции (см. рис. 13, б), после чего нагрейте до 240 °С.

Свойства пирофосфорной кислоты и ее солей

1. Испытайте действие раствора пирофосфорной кислоты на белок в буферном растворе ацетата натрия и уксусной кислоты. Что наблюдаете?

2. К 2—3 мл пирофосфата натрия добавьте несколько капель раствора нитрата серебра. Что происходит? Проведите аналогичную реакцию с раствором пирофосфорной кислоты. Что наблюдаете в этом случае?

Испытайте отношение выпавшего осадка к разбавленному раствору азотной кислоты. Напишите уравнения реакций.

В каких случаях происходит выпадение осадка, каков его состав и растворяется ли полученное вещество в разбавленном растворе азотной кислоты?

3. С помощью универсального индикатора определите рН растворов двух- и четырехзамещенных натриевых солей пирофосфорной кислоты. Напишите уравнения реакций.

15.6. Ортофосфорная кислота

Получение ортофосфорной кислоты

1. Растворите в дистиллированной воде небольшое количество фосфорного ангидрида (см. подразд. 15.3), добавьте несколько капель разбавленной серной кислоты и прокипятите раствор. Полученный раствор используйте для последующих исследований.

2. Положите в пробирку немного фосфорита (ортофосфата кальция), добавьте 5 мл 50%-ного раствора серной кислоты и нагрейте смесь до кипения. Слейте раствор с осадка и разбавьте водой (кислоту в воду!).

3. В фарфоровую чашку поместите 0,2 г красного фосфора и прилейте к нему небольшими порциями 2—3 мл дымящей азотной кислоты (*в вытяжном шкафу*). Поставьте чашку на водяную баню и нагревайте, пока весь фосфор не вступит в реакцию. Избыток азотной кислоты удалите выпариванием на водяной бане.

Напишите уравнения реакций.

Свойства ортофосфорной кислоты и ее солей

1. К растворам, полученным в предыдущем опыте, прибавьте «молибденовую жидкость»*. Что наблюдаете? Испытайте отношение осадка к 1 М раствору азотной кислоты.

* Приготовление «молибденовой жидкости» для определения фосфат-иона: растворите 10 г сульфата аммония в 90 мл 68%-ного раствора азотной кислоты и 30 г молибдата аммония в 80 мл дистиллированной воды. Охладите второй раствор до комнатной температуры и вылейте его в первый при постоянном перемешивании. Общий объем раствора доведите до 1 л. Через несколько дней отфильтруйте раствор от выпавшего осадка.

Каков состав выпавшего осадка? Растворяется ли полученный осадок в азотной кислоте?

2. Испытайте отношение нитрата серебра к раствору гидрофосфата натрия. Отметьте цвет выделившегося осадка. Испытайте отношение осадка к 1 М раствору азотной кислоты.

Растворяется ли полученное вещество в 1 М растворе азотной кислоты?

3. В пробирку поместите 3 мл раствора хлорида магния, добавьте к нему концентрированный раствор аммиака до выпадения осадка гидроксида магния. Осадок в пробирке растворите в насыщенном растворе хлорида аммония. К полученному раствору прилейте раствор фосфата натрия. Что наблюдаете? Растворяется ли осадок в соляной кислоте?

4. В три пробирки налейте растворы дигидрофосфата натрия, гидрофосфата натрия и фосфата натрия. Определите рН раствора в каждой пробирке с помощью универсального индикатора. В каждую пробирку прилейте равный объем концентрированного раствора хлорида кальция. Снова определите рН растворов. Испытайте отношение полученных осадков к уксусной и соляной кислотам. Что наблюдаете?

Напишите уравнения протолитических равновесий и объясните, почему получается разная среда при растворении данных солей в воде. Какой состав могут иметь выпавшие осадки? Объясните их отношение к растворам уксусной и соляной кислот.

5. Прокалите в пламени газовой горелки тигель с небольшим количеством однозамещенной натриевой соли ортофосфорной кислоты. Реакцию разложения необходимо довести до конца (плавление). Полученный расплав вылейте на металлическую пластину, после застывания плав разотрите в ступке, растворите в воде и определите с использованием изученных ранее качественных реакций, соль какой фосфорной кислоты находится в растворе.

Напишите уравнения реакций.

Какие продукты образуются при прокаливании двухзамещенных натриевой и аммонийнатриевой солей ортофосфорной кислоты? Напишите уравнения реакций.

15.7. Синтезы по теме «Фосфор»

Получение фосфина

Соберите в вытяжном шкафу прибор для получения фосфина (рис. 89). В круглодонную колбу 1 емкостью 100 мл налейте 40 мл 40%-ного раствора гидроксида калия и внесите 1—2 г белого фосфора. Добавьте в колбу 2—3 мл диэтилового эфира (осторожно, вдали от огня) и закройте колбу пробкой с газоотводной трубкой 2. Свободный конец этой трубки погрузите в кристаллизатор с водой 3.

Нагрейте содержимое колбы 1 горелкой вначале осторожно, а затем сильно, до кипения жидкости. Реакцию ведите до полного расходования фосфора. Что наблюдаете? По окончании опыта погасите горелку и дождитесь, чтобы в колбу 1 засосало воду из кристаллизатора 3. Химическим путем установите, что образовалось в результате реакции белого фосфора с щелочью в колбе 1. Напишите уравнения реакции.

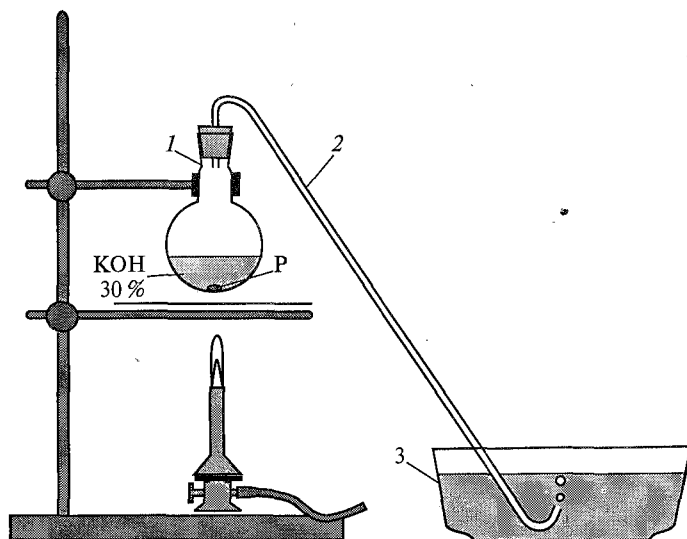


Рис. 89. Прибор для получения фосфина:

1 — колба круглодонная; 2 — газоотводная трубка; 3 — кристаллизатор

Какие известны соединения фосфора с водородом? Сравните свойства фосфина и аммиака. Напишите координационные формулы иона фосфония и фосфорноватистой кислоты.

Получение трихлорида и пентахлорида фосфора

Соберите в вытяжном шкафу прибор (рис. 90). Во взвешенные пробирки Вюрца 7 и 9 поместите по 0,2 г сухого красного фосфора. Нижние концы трубок 6 и 8, подводящих хлор в пробирки 7 и 9, должны быть расположены на 2—3 см выше слоя фосфора.

Откройте кран 3 и вытесните из прибора воздух сухим азотом или диоксидом углерода. Затем закройте кран 3, приоткройте кран капельной воронки и по каплям прибавляйте концентрированную соляную кислоту к перманганату калия.

После заполнения прибора хлором осторожно подогрейте пламенем газовой горелки фосфор в пробирках 7 и 9. Что наблюдаете? Регулируя нагревание и скорость подачи хлора, получите в одной пробирке Вюрца трихлорид фосфора, в другой — пентахлорид фосфора.

Если образование трихлорида фосфора произошло раньше по времени, чем пентахлорида фосфора, то вначале отсоедините пробирку с трихлоридом фосфора и продолжите опыт до завершения реакции синтеза пентахлорида фосфора в другой пробирке.

Проделайте следующие качественные реакции.

1. Налейте в пробирку 3 мл дистиллированной воды и осторожно по каплям прибавьте небольшое количество трихлорида фосфора. Что наблюдаете? Химическим путем определите качественный состав продуктов гидролиза.

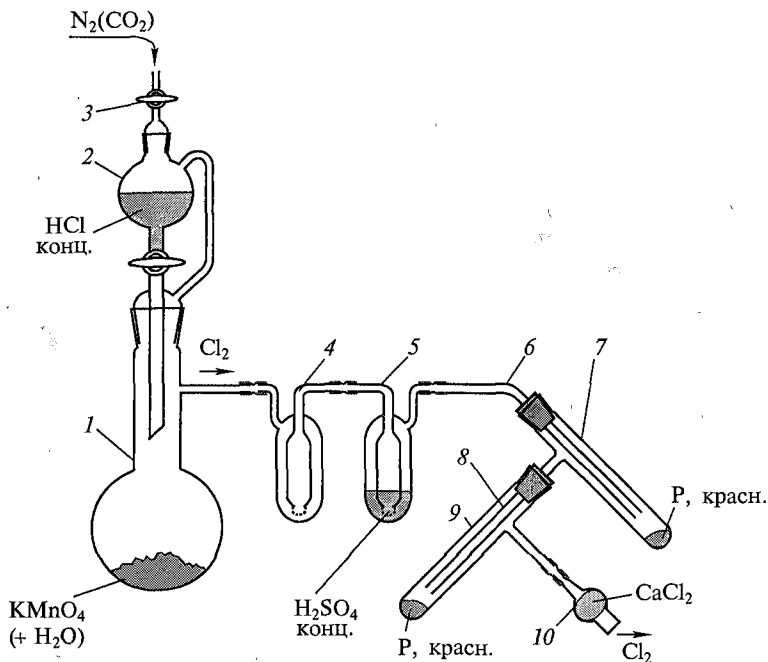


Рис. 90. Прибор для получения хлоридов фосфора(III) и (V):

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — пробка с краном; 4 — пустая предохранительная промывалка; 5 — промывалка с серной кислотой; 6, 8 — газотводные трубки; 7, 9 — пробирки Вюрца; 10 — хлоркальциевая трубка

2. Внесите небольшое количество полученного пентахлорида фосфора в дистиллированную воду. Что наблюдаете? Химическим путем определите состав продуктов взаимодействия пентахлорида фосфора с водой.

3. В раствор иодида калия в пробирке внесите небольшое количество пентахлорида фосфора. На что указывает изменение окраски раствора?

Напишите уравнения реакций.

1. К какому классу соединений относятся галогениды фосфора?

2. Запишите в рабочем журнале в виде таблицы температуры кипения и плавления галогенидов фосфора. Сравните эти константы и объясните закономерности их изменения.

ГЛАВА 16

СУРЬМА, ВИСМУТ

16.1. Свойства сурьмы

В три пробирки поместите по 0,5 г сурьмы и добавьте в каждую из них 3—5 мл «царской водки» (см. подразд. 14.6), концентрированной азотной кислоты и 50%-го раствора гидроксида калия. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

16.2. Оксид сурьмы(III)

К 10 мл подкисленного соляной кислотой раствору трихлорида сурьмы прилейте раствор карбоната натрия до слабощелочной реакции. Что наблюдаете? Нагрейте реакционную смесь до удаления диоксида углерода. Дайте осадку осесть и промойте его несколько раз горячей водой путем декантации.

1. Полученный осадок перенесите в четыре пробирки. Испытайте отношение оксида сурьмы(III) к воде, растворам соляной и винной кислот (или кислому тартрату натрия), раствору гидроксида натрия.

2. Испытайте полученный в предыдущем опыте раствор антимонита натрия аммиачным раствором нитрата серебра. Что наблюдаете?

Напишите уравнения реакций.

К какому классу оксидов относится оксид сурьмы(III)? Какие свойства проявляет сурьма(III) в этих реакциях?

16.3. Оксид сурьмы(V)

В две пробирки поместите немного оксида сурьмы(V). В первую пробирку прибавьте 10%-ный раствор гидроксида калия. Что наблюдаете? Во вторую пробирку прилейте немного концентрированной соляной кислоты. Поднесите к пробирке полоску фильтровальной бумаги, смоченную раствором иодида калия. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Каким способом можно получить оксид сурьмы (V)?

16.4. Сульфиды и тиосоли сурьмы(III) и (V)

1. К 2—3 мл раствора хлорида сурьмы(III) в пробирке добавьте раствор сульфида натрия до выпадения осадка сульфида сурьмы(III). Отметьте цвет осадка. Прилейте избыток раствора сульфида натрия. Что наблюдаете?

2. К небольшому количеству раствора хлорида сурьмы(III) в пробирке добавьте немного раствора полисульфида натрия, а затем его избыток. Что наблюдаете?

3. К растворам полученных тиосолей сурьмы добавьте разбавленную соляную кислоту. Что происходит?

Напишите уравнения реакций.

16.5. Получение и свойства висмута

В раствор соли висмута в пробирке внесите гранулированный цинк. Что наблюдаете? Отделите выделившийся висмут и внесите его в две пробирки. Испытайте отношение висмута к соляной и азотной кислотам. Что происходит? Напишите уравнения реакций.

В каких условиях можно получить висмут из его соединений, взяв в качестве восстановителя соединения олова(II)?

16.6. Свойства соединений висмута(III)

1. В пробирку с водой внесите немного кристаллического хлорида или нитрата висмута(III). Что наблюдаете?

Каким образом можно приготовить прозрачные растворы солей висмута(III)?

2. Получите осадок гидроксида висмута(III) взаимодействием растворов нитрата висмута(III) и гидроксида натрия. Осадок разделите на две пробирки. В одну добавьте разбавленную азотную кислоту, в другую — раствор гидроксида натрия. Что наблюдаете?

3. Осадите сульфид висмута(III) взаимодействием растворов нитрата висмута и сульфида натрия. Осадок разделите на две пробирки. В одну добавьте раствор сульфида натрия, в другую — концентрированную соляную кислоту. Что происходит? Напишите уравнения реакций.

Образует ли висмут тиосоли? Ознакомьтесь со значением произведения растворимости сульфида висмута(III) и объясните наблюдаемые явления.

16.7. Получение и свойства соединений висмута(V)

1. Осадите в пробирке гидроксид висмута(III) и добавьте при нагревании кристаллический пероксодисульфат калия. Что наблюдаете? Промойте осадок три раза дистиллированной водой (по ~3 мл) и оставьте для следующего опыта.

2. Приготовьте в пробирке раствор, содержащий по одной — две капли 10%-ного раствора нитрата марганца и концентрированного раствора азотной кислоты, две — три капли воды. Внесите в раствор висмутат калия, полученный в предыдущем опыте. Что наблюдаете?

Напишите уравнения реакций.

На какие свойства соединений висмута(V) указывает данная реакция? Сравните кислотно-основные, восстановительные и окислительные свойства гидроксидов мышьяка, сурьмы и висмута.

16.8. Синтезы по теме «Сурьма, висмут»

Сурьмянистый водород (стибин)

(Работу проводите в вытяжном шкафу, в очках или маске под наблюдением преподавателя!) Соберите прибор, изображенный на рис. 91, со стеклянной оттянутой трубкой 4 длиной 10 — 15 см внутренним диаметром около 1 см.

1. В пробирку Вюрца 1 поместите гранулированный цинк (~ $\frac{1}{3}$ объема пробирки) и через воронку 2 прилейте немного 20%-ного раствора соляной или серной кислоты (см. подразд. 10.3) и проверьте водород на чистоту (см. подразд. 10.1).

(Водород горюч и в смеси с воздухом взрывоопасен. Наденьте очки или маску!)

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 газоотводной трубки 5 и нагрейте тугоплавкую стеклянную трубку 4 прибора в пламени горелки. Что наблюдаете?

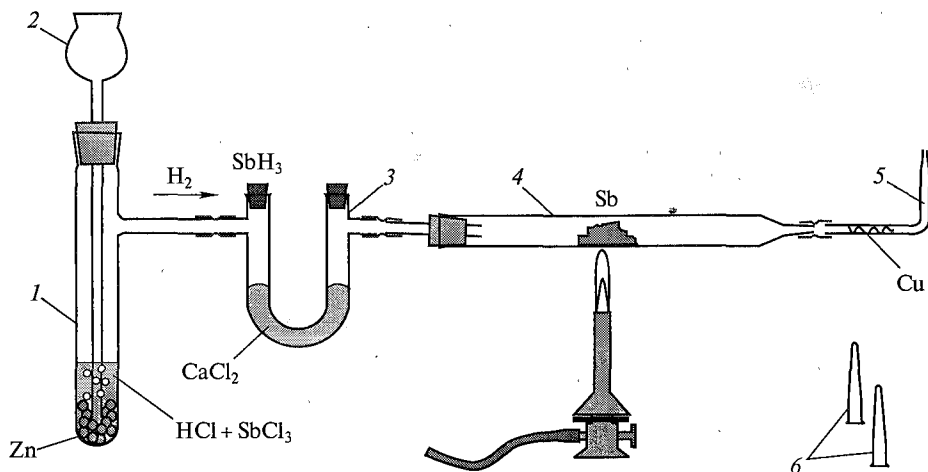


Рис. 91. Прибор для получения стибина:

1 — пробирка Вюрца; 2 — воронка; 3 — U-образная трубка с хлоридом кальция; 4 — тугоплавкая стеклянная трубка; 5 — газоотводная трубка; 6 — пробирки для проверки водорода на чистоту

2. Добавьте в пробирку Вюрца 1 через воронку 2 немного раствора соли сурьмы. Что изменилось? Регулируя температуру нагрева стеклянной трубки 4 и скорость подачи водорода, постарайтесь получить ровное блестящее сурьмяное зеркало на внутренней трубки 4. После завершения опыта разберите прибор и обработайте образовавшееся зеркало раствором гипохлорита натрия или белильной извести. Что происходит?

Напишите уравнения реакций.

1. С какой целью проводятся два параллельных опыта — с добавлением соли сурьмы и без нее?
2. Чем может быть загрязнен цинк?
3. Зачем «сурьмяное зеркало» обрабатывают раствором белильной извести или гипохлорита натрия?
4. Сравните свойства сурьмянистого водорода и аналогичных водородных соединений мышьяка, фосфора и азота (термическая устойчивость, восстановительные свойства).

Получение сурьмы

Поместите в шамотовый или фарфоровый тигель тщательно высушенную смесь 6 г сульфида сурьмы, 2,5 г восстановленного порошка железа, 0,8 г сульфида натрия и 0,25 г угля (в порошке) и прокалите 20—30 мин в тигельной (шахтной) печи при 800 °С. Охладите тигель, разбейте его и извлеките «королек» сурьмы.

Что наблюдается при действии соляной, серной и азотной кислот на порошок сурьмы? Какое положение занимает сурьма в ряду напряжений металлов?

Получение висмута

Восстановите оксид висмута(III) водородом (см. методику подразд. 10.3) (*Опыт выполняйте под наблюдением преподавателя в защитных очках или маске!*)

Оксид сурьмы(V)

Обработайте при нагревании на водяной бане в фарфоровой чашке 0,2—0,3 г тонкоизмельченной сурьмы 2—3 мл концентрированной азотной кислоты. По окончании окисления реакцию смесь разбавьте водой и отделите раствор путем декантации. Окисление можно считать законченным, если растворенная в щелочи проба полученного белого порошка не будет восстанавливать аммиачный раствор нитрата серебра. Осадок высушите сначала на водяной бане досуха, перенесите в фарфоровый тигель, а затем прогрейте в тигельной (шахтной) печи при 275 °С.

Подействуйте на полученный оксид сурьмы(V) концентрированной соляной кислотой и гидроксидом натрия. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Хлорид сурьмы(V)

Соберите прибор (рис. 92). В реактор 5 поместите 4—5 г измельченной металлической сурьмы. Пробирку-приемник 6 охладите в бане 8 со льдом и водой. Пропустите через прибор ток сухого хлора. Что наблюдаете? При необходимости можно слегка обогреть пламенем горелки реактор с сурьмой 5.

Отсоедините пробирку Вюрца 6 с веществом и взвесьте. Рассчитайте выход в процентах. Полученный пентахлорид сурьмы растворите в сухом тетрахлори-

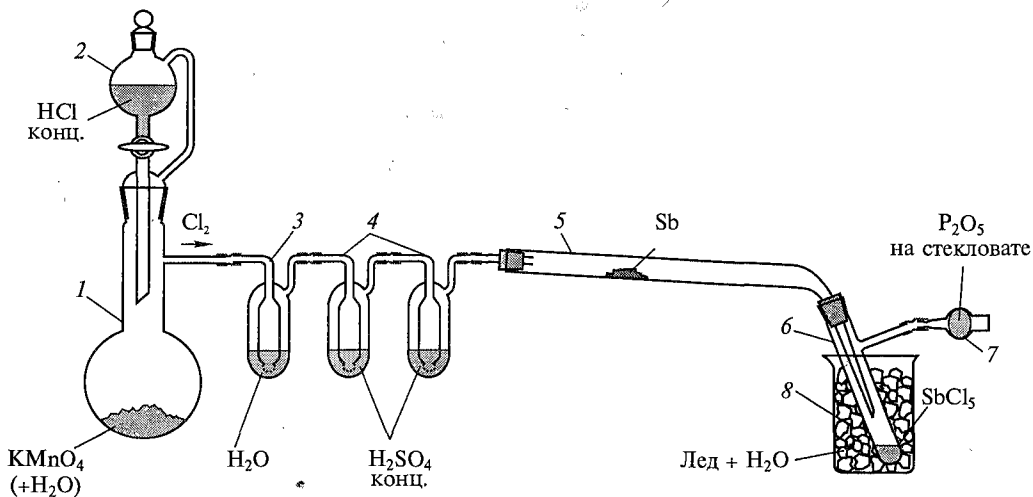


Рис. 92. Прибор для получения пентахлорида сурьмы:

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — промывалка с водой; 4 — промывалки с серной кислотой; 5 — реактор; 6 — пробирка Вюрца—приемник; 7 — хлоркальциевая трубка; 8 — баня со льдом и водой

де углерода и используйте в последующих опытах. Вылейте немного вещества в стакан с водой. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Гексахлороантимонат(V) нитрозония

Соберите прибор для получения хлорида нитрозила (см. рис. 85) и пропустите ток газообразного хлорида нитрозила через раствор пентахлорида сурьмы в тетрахлориде углерода при охлаждении в бане со льдом. Выпавшие кристаллы отделите от раствора на стеклянном пористом фильтре, поместите в бюкс и взвесьте. Рассчитайте выход в процентах. Напишите уравнения реакций.

ГЛАВА 17

УГЛЕРОД

17.1. Оксид углерода(IV)

1. Наполните из аппарата Киппа три сухие склянки емкостью 100—200 мл диоксидом углерода и закройте каждую из них покровным стеклом. Склянки открывайте непосредственно перед проведением опыта.

Как убедиться в том, что банки наполнены диоксидом углерода?

А. «Вылейте» содержимое одной из склянок на слабое пламя газовой горелки. Что наблюдаете?

Б. Во вторую склянку при помощи пинцета или щипцов быстро внесите ленту горящего магния. Что наблюдаете? Напишите уравнение реакции.

В. В третью склянку осторожно внесите ложечку с зажженным на воздухе красным фосфором (*опыт выполняйте в вытяжном шкафу!*). Что происходит? Объясните наблюдаемые явления.

2. Пропустите ток диоксида углерода через дистиллированную воду в течение 3—5 мин и определите pH раствора универсальной индикаторной бумагой.

Какие процессы происходят при взаимодействии диоксида углерода с водой? Какие ионы присутствуют в полученном растворе? Напишите уравнения реакций. Ознакомьтесь со значениями констант диссоциации угольной кислоты.

17.2. Соли угольной кислоты

1. Налейте в пробирку 2—3 мл раствора гидроксида кальция и пропустите через него ток диоксида углерода до окончания реакции (прекращения поглощения диоксида углерода и стабилизация pH раствора). Какие реакции протекают в растворе? Нагрейте полученный раствор. Что наблюдаете?

2. К 2—3 мл раствора хлорида кальция добавьте раствор гидрокарбоната натрия. Что происходит?

Объясните происходящие явления.

3. Испытайте отношение карбонатов разных металлов к нагреванию. Для этого прокалите в тиглях следующие соли: основной карбонат меди, карбонаты магния, кальция, натрия, гидрокарбонат натрия. Что наблюдаете?

Напишите уравнения реакций.

Какая соль гидролизруется сильнее: карбонат или гидрокарбонат натрия? Почему? Ответ подтвердите расчетом констант гидролиза солей. Объясните причины разной термической устойчивости изученных карбонатов.

17.3. Оксид углерода(II)

(Монооксид углерода — сильный яд! Опыты проводите только в вытяжном шкафу.)

Получение оксида углерода(II) действием концентрированной серной кислоты на муравьиную кислоту. Соберите прибор (рис. 93). В колбу Вюрца 1 емкостью 100 мл налейте 30 мл концентрированного раствора серной кислоты, в капельную воронку 2 — 15 мл муравьиной кислоты, в первую промывалку 3 — небольшое количество вазелинового масла (счетчик пузырьков), вторую промывалку 4 оставьте пустой.

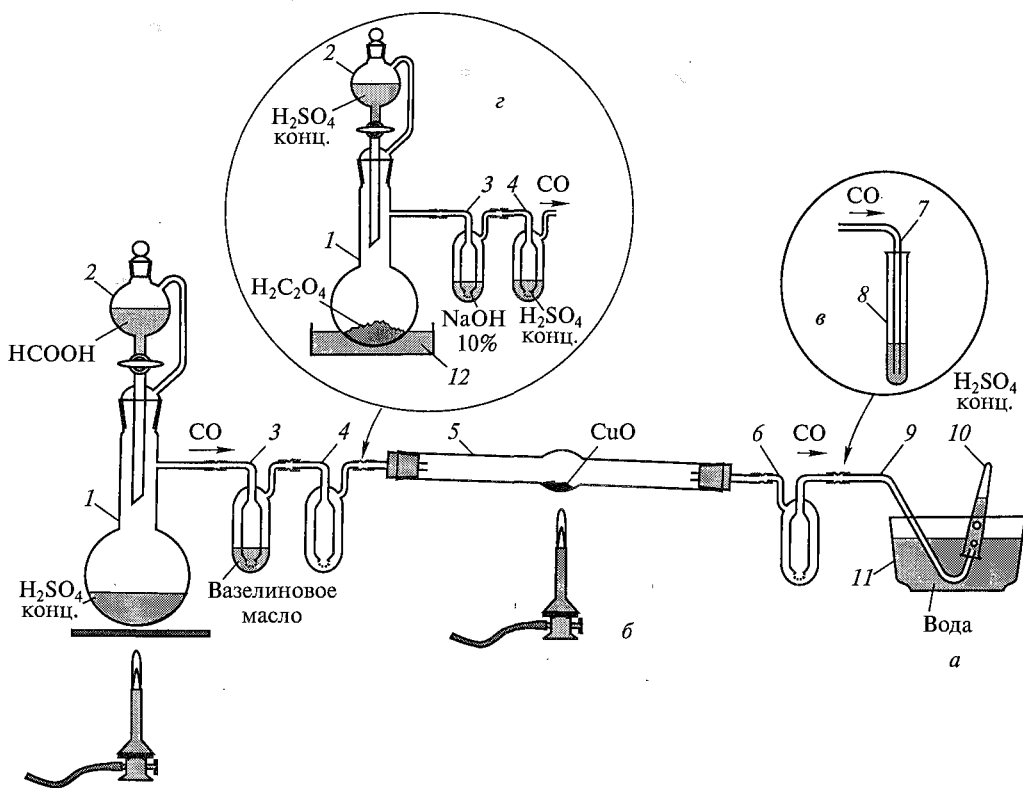


Рис. 93. Прибор для получения оксида углерода(II) и изучения его свойств:

a — проверка оксида углерода(II) на чистоту; *б* — восстановление оксида меди в токе оксида углерода(II); *в* — исследование свойств оксида углерода(II); *г* — получение оксида углерода(II) действием концентрированной серной кислоты на щавелевую кислоту; 1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3, 4, 6 — промывалки; 5 — трубка реакционная; 7, 9 — газоотводные трубки; 8, 10 — пробирки; 11 — кристаллизатор; 12 — баня песчаная

В среднюю часть трубки из тугоплавкого стекла 5 поместите ~0,2 г оксида меди(II). В кристаллизатор 11 налейте воду. Осторожно нагрейте колбу с серной кислотой до 60 °С и по каплям добавьте к ней муравьиную кислоту.

(Оксид углерода(II) горюч и в смеси с кислородом или воздухом взрывоопасен! Наденьте очки или маску!)

Выделяющийся газ соберите под водой в небольшую пробирку (рис. 93, а) и проверьте его на отсутствие примеси кислорода (см. подразд. 10.1). Убедившись в чистоте монооксида углерода нагрейте пламенем горелки в токе монооксида углерода ту часть трубки, где лежит оксид меди (рис. 93, б). Что наблюдаете?

На какие свойства монооксида углерода указывает этот опыт?

После завершения восстановления оксида меди охладите реакционную трубку в токе оксида углерода(II) до комнатной температуры и замените газоотводную трубку 9 на трубку 7 (рис. 93, в). Испытайте действие выходящего газа на известковую воду. Что наблюдаете? Пропустите монооксид углерода через аммиачный раствор нитрата серебра*. Что происходит?

Напишите уравнения реакций.

Что произойдет при пропускании оксида углерода(II) через солянокислый раствор хлорида меди(I)? Напишите уравнение реакции. Одинаковые ли свойства проявляет оксид углерода(II) при пропускании через аммиачные растворы нитрата серебра и хлорида меди(I)?

Получение оксида углерода(II) действием концентрированной серной кислоты на щавелевую кислоту. Поместите 10—15 г щавелевой кислоты в колбу Вюрца 1 (рис. 93, г), а в капельную воронку 2 налейте концентрированную серную кислоту. Первую промывалку 3 заполните 10%-ным раствором гидроксида натрия, а вторую 4 — концентрированным раствором серной кислоты. Осторожно нагрейте колбу с серной кислотой и по каплям добавляйте к ней муравьиную кислоту. Нагревание реакционной смеси в колбе Вюрца проводите на песчаной бане 12 до начала энергичного выделения газа. Напишите уравнение реакции.

ГЛАВА 18

КРЕМНИЙ

18.1. Свойства кремния

1. Небольшое количество кремния (получение кремния см. в подразд. 18.4) обработайте в пробирке 20%-ным раствором NaOH. Что происходит?

2. Испытайте отношение кремния к кислотам, в том числе к плавиковой и смеси плавиковой кислоты с концентрированной азотной кислотой.

(Работать с плавиковой кислотой можно только в вытяжном шкафу и перчатках! Все опыты с плавиковой кислотой следует проводить в пластмассовой

* Аммиачный раствор соли серебра готовят добавлением раствора аммиака к раствору нитрата серебра до исчезновения осадка оксида серебра.

посуде! Растворы, содержащие плавиковую кислоту, нельзя сливать в раковину, их необходимо предварительно нейтрализовать карбонатом кальция.)

Напишите уравнения реакций.

18.2. Гидролиз соединений кремния

Гидролиз силиката натрия

Приготовьте раствор жидкого стекла в воде или растворите в горячей воде несколько кристаллов силиката натрия и, в случае необходимости, отфильтруйте осадок. С помощью индикаторной бумаги определите pH раствора. Объясните изменение окраски индикатора.

Разлейте раствор в три пластмассовые пробирки. В первую пробирку прилейте разбавленную соляную кислоту. Что происходит? Во вторую пробирку добавьте немного сухого хлорида аммония. Содержимое пробирки хорошо перемешайте. Каков состав выпавшего осадка? Через раствор в третьей пробирке пропустите ток диоксида углерода. Что наблюдаете?

Напишите уравнения всех реакций.

Гидролиз стекла

Нагрейте кончик стеклянной палочки или трубки до размягчения и быстро опустите в стакан с водой (*наденьте защитные очки!*). Вылейте воду из стакана, мелкие осколки стекла перенесите в фарфоровую ступку и разотрите их в порошок. Прилейте две — три капли раствора фенолфталеина. Что наблюдаете?

1. Объясните появление окраски. Почему фенолфталеин не меняет окраску, когда хранится в стеклянной капельнице? Взаимодействует ли стекло с кислотами и щелочами?
2. Как получают стекло в промышленности? Каково агрегатное состояние стекла? Какой состав технического растворимого стекла?

Получение «неорганического сада»

Поместите кристаллы солей кобальта, железа(II), алюминия, никеля и кальция на дно прозрачного пластмассового стакана и осторожно прилейте 30 — 50 мл раствора «жидкого стекла». Что наблюдаете? Кристаллы солей можно дополнительно добавлять в раствор сверху.

Объясните образование «неорганического сада» в растворе «жидкого стекла».

Гидрогель и гидрозоль кремниевой кислоты

Гидрогель кремниевой кислоты. Налейте в пробирку 5 мл концентрированного раствора «жидкого стекла», быстро прилейте к нему 3 мл 24%-ного раствора соляной кислоты и перемешайте стеклянной палочкой. Что наблюдаете?

Гидрозоль кремниевой кислоты. К 6 мл концентрированного раствора соляной кислоты прилейте 1 мл «жидкого стекла». Что наблюдаете? Проходит ли полученный кислый раствор через бумажный фильтр? Нагрейте раствор почти до кипения, а затем охладите. Что происходит?

Что такое гидрогель и гидрозоль? Почему в одних условиях образуется гидрогель, а в других — гидрозоль кремниевой кислоты?

18.3. Травление силикатного стекла

(Опыты проводите в вытяжном шкафу и перчатках!)

Травление стекла плавиковой кислотой. Покройте стеклянную пластинку слоем парафина. Для этого опустите ее в расплавленный в фарфоровой чашке парафин и тотчас же выньте. Заостренной палочкой сделайте на парафинированной поверхности надпись таким образом, чтобы открыть поверхность стекла. По краям надписи сделайте из парафина небольшой барьер. Налейте 10%-ный раствор плавиковой кислоты на парафинированную пластинку и оставьте ее в закрытом свинцовом сосуде (рис. 94). Через 1—2 ч извлеките щипцами парафинированную стеклянную пластинку (в защитных перчатках!), смойте с нее раствор и снимите парафин. Что произошло со стеклом? Напишите уравнение реакции.

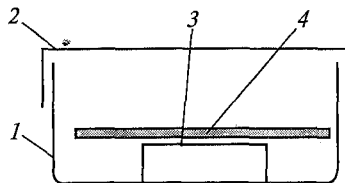


Рис. 94. Свинцовый сосуд для травления стекла:

1 — свинцовый сосуд; 2 — крышка; 3 — свинцовая подставка; 4 — парафинированная стеклянная пластинка

Травление стекла газообразным фтороводородом.

На дно свинцового сосуда 1 с крышкой 2 (см. рис. 94) поместите смесь 5 г фторида кальция с 1 г сульфата кальция. Положите на свинцовую подставку 3 парафинированную стеклянную пластинку 4 надписью вниз. Прилейте 5 мл концентрированного раствора серной кислоты и закройте сосуд свинцовой крышкой. Через 2—3 ч выньте пластинку щипцами, тщательно промойте ее водой и снимите парафин. Что произошло со стеклом? Напишите уравнение реакции.

Чем отличается поверхность стекла, обработанная газообразным фтороводородом, от поверхности стекла, протравленной плавиковой кислотой? Как можно объяснить разницу в травлении?

18.4. Синтезы по теме «Кремний»

Получение кристаллического кремния

(Опыт проводите только под наблюдением преподавателя! Наденьте защитные очки или маску!)

Методика алюмотермического восстановления оксидов приведена в разделе «Алюминий» (см. рис. 103). Разотрите в фарфоровой ступке смесь 2 г свежеприготовленных алюминиевых опилок и 1,8 г предварительно прокаленного кварцевого песка. Добавьте 2,5 г порошка серы, перемешайте и поместите в железный тигель. В качестве зажигательной смеси используйте 2—3 г смеси порошка магния и пероксида бария, взятых в массовом соотношении 1:9 (зажигательную смесь ни в коем случае нельзя растирать в ступке!).

После бурной экзотермической реакции, переходящей в спокойное горение серы, закройте тигель крышкой (не наклоняясь над тиглем!). Когда тигель остынет, извлеките его содержимое. Получившийся кремний отделите от остальных продуктов реакции дроблением спека. (Продукты реакции содержат сульфид алюминия, поэтому их нельзя выбрасывать в ведра для мусора!) Кусочки, содержащие кремний, осторожно высыпьте небольшими порциями в стакан с

24%-ным раствором соляной кислоты (*в вытяжном шкафу! Наденьте защитные очки или маску!*). Что наблюдаете? После завершения реакции отделите примеси оксидов кремния и алюминия взмучиванием и промыванием в воде. Кремний промойте водой и высушите на воздухе. Напишите уравнения реакций.

Предложите способ утилизации сульфида алюминия. Какие газы выделяются при взаимодействии кремнийсодержащего спека с соляной кислотой.

Получение и свойства гексафторокремниевой кислоты

Соберите прибор (рис. 95). Смешайте 2 г сухого кварцевого песка с 2 г фторида кальция. Поместите смесь в колбу Вюрца 1 и добавьте 15 мл 96%-ного раствора серной кислоты. Закройте колбу пробкой. Воронка 4 должна касаться поверхности воды в стакане 3.

Нагрейте колбу. Что при этом происходит? Какой газ, поступающий из колбы Вюрца по газоотводной трубке 2, выделяется из-под воронки? Какое вещество выпадает в осадок? Что находится в растворе?

1. Определите pH полученного раствора универсальной индикаторной бумагой.

2. Испытайте действие раствора гексафторокремниевой кислоты на цинк и магний.

3. К растворам хлоридов калия и кальция, налитым в две пробирки, прилейте немного раствора гексафторокремниевой кислоты и раствора ацетата натрия. Что наблюдаете?

Напишите уравнения реакций.

Сильной или слабой является гексафторокремниевая кислота? Разрушает ли она стекло? Образует ли она малорастворимые соли со щелочными и щелочноземельными элементами? Если образует, то с какими?

Получение силицида магния и силанов

(*Опыт проводите в вытяжном шкафу! Наденьте защитную маску или очки!*)

Смешайте 1,0 г тонкоизмельченного в чугунной ступке кварцевого песка с полуторным, относительно рассчитанного по уравнению реакции, количеством

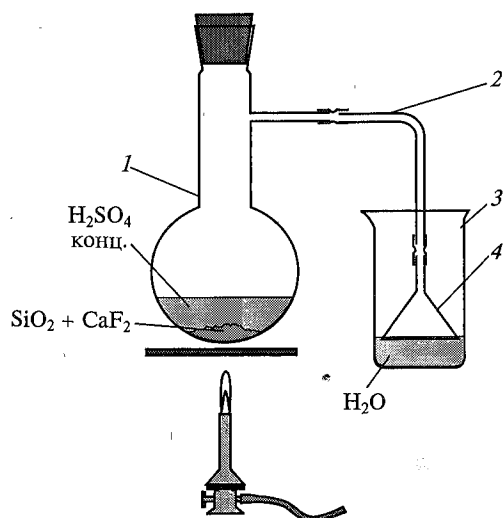


Рис. 95. Прибор для получения гексафторокремниевой кислоты:

1 — колба Вюрца; 2 — газоотводная трубка; 3 — стакан; 4 — воронка

порошкообразного магния. Смесь высыпьте в пробирку из жаропрочного стекла, закрепленную наклонно в лапке штатива над листом железа или асбеста. Прогрейте пробирку по всей длине, а затем сильно накалите ее дно. Что наблюдаете?

По завершении реакции и охлаждения вещества до комнатной температуры разбейте пробирку. Рассмотрите крупинку спека под микроскопом. Полученное вещество небольшими порциями внесите в стакан с 20 мл 24%-ного раствора соляной кислоты. (*Осторожно, наденьте защитные очки и опустите створки вытяжного шкафа! Силаны самовоспламеняются на воздухе!*) Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Сравните устойчивость на воздухе силанов и соответствующих углеводов.

ГЛАВА 19

ОЛОВО, СВИНЕЦ

19.1. Получение и свойства олова

Получение олова восстановлением цинком. В раствор хлорида олова(II) опустите пластинку металлического цинка. Что происходит? Напишите уравнение реакции.

Свойства олова. Проведите реакции олова с азотной, серной и соляной кислотами в разных условиях (температура, концентрация). Растворяется ли олово в растворе щелочи? Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

19.2. Соединения олова

Гидроксид олова(II)

Осадите в пробирке гидроксид олова(II) из раствора хлорида олова. Чем следует осажать гидроксид олова? Напишите уравнение реакции.

Получение и свойства гидроксостанната(II) натрия

1. К раствору хлорида олова(II) прилейте небольшими порциями избыток раствора гидроксида натрия. Что происходит? Нагрейте полученный раствор. Что наблюдаете?

Объясните наблюдаемые явления.

2. Осадите гидроксид висмута и внесите его в раствор гидроксостанната(II) натрия. Что наблюдаете?

На какие свойства соединений олова(II) указывает эта реакция?

3. Приготовьте раствор гидроксостанната(II) натрия, разбавьте его водой и оставьте до следующего занятия. Что происходит?

Как получить станнит натрия сухим путем? Каков его состав?

Напишите уравнения реакций.

Свойства хлорида олова(II)

Налейте в две пробирки по 1—2 мл раствора хлорида олова(II). В первую пробирку прилейте немного бромной воды. Как меняется цвет раствора? Во вторую пробирку добавьте немного водного раствора сернистого газа. Что наблюдаете? Добавьте в обе пробирки сульфида натрия. Отметьте цвет выпавших осадков. В какой степени окисления находилось олово? Напишите уравнения реакций.

На какие свойства соединений олова(II) указывают эти реакции?

Получение и свойства α -оловянной кислоты

К раствору хлорида олова(IV) прилейте 10%-ный раствор аммиака до полного выпадения осадка. Полученный осадок промойте водой путем декантации до удаления хлорид-ионов и отфильтруйте. Испытайте отношение α -оловянной кислоты к воде, растворам кислот и щелочей. Сохраняются ли свойства α -оловянной кислоты после длительного стояния или кипячения? Проведите соответствующие опыты. Напишите уравнения реакций.

Получение и свойства β -оловянной кислоты

Обработайте 0,5 г олова концентрированным раствором азотной кислоты при нагревании (*в вытяжном шкафу!*). Что наблюдаете? Тщательно промойте полученный осадок водой путем декантации. Испытайте отношение β -оловянной кислоты к растворам щелочей и кислот. Напишите уравнения реакций.

Что называют α - и β -оловянными кислотами? Сравните химическую активность α - и β -оловянных кислот.

Сульфиды и тиосоли олова

1. Через 2—3 мл солянокислых растворов хлоридов олова(II) и (IV) в пробирках пропустите ток сероводорода. Что наблюдаете?

2. Осадите сульфиды олова(II) и (IV) действием сульфида натрия на соответствующие солянокислые растворы хлоридов.

А. Подействуйте на осадки сульфидов олова(II) и (IV) избытком концентрированной соляной кислоты. Что наблюдаете?

Б. Испытайте действие концентрированного раствора гидроксида натрия на осадки сульфидов олова(II) и (IV). Что наблюдаете?

В. Проверьте действие недостатка и избытка сульфида и полисульфида натрия на осадки сульфида олова(II) и сульфида олова(IV)? К небольшому количеству растворов полученных тиосолей олова добавьте разбавленную соляную кислоту. Что происходит?

Напишите уравнения реакций.

Какие элементы 14-й и 15-й групп длиннопериодного варианта Периодической системы и в каких степенях окисления образуют тиосоли?

19.3. Получение и свойства свинца

(Соединения свинца ядовиты, поэтому после проведения опытов с ними необходимо тщательно вымыть руки теплой водой с мылом.)

Получение свинца вытеснением цинком

Налейте в пробирку раствор нитрата свинца и опустите в него гранулу цинка. Что наблюдаете? Напишите уравнение реакции.

Свойства свинца

Испытайте действие разбавленных растворов соляной, азотной и уксусной кислот, а также 10%-ного раствора гидроксида натрия на металлический свинец. Объясните происходящие явления и напишите уравнения реакций.

19.4. Оксиды и гидроксиды свинца

Получение свинцового сурика

Поместите в фарфоровый тигель 2—3 г карбоната свинца и прокалите его 2—3 ч в тигельной печи при 450—500 °С. Полученное вещество перенесите в стакан и прокипятите с раствором ацетата свинца. Слейте раствор с осадка, осадок отфильтруйте, промойте горячей водой и просушите в сушильном шкафу при 100 °С. Каковы вид и состав полученного вещества?

При каких температурах возможно присоединение кислорода из воздуха к оксиду свинца(II)?

Получение оксида свинца(IV) из сурика

Поместите в коническую колбочку 1,0 г свинцового сурика и добавьте 10 мл 10%-ного раствора азотной кислоты. Содержимое колбы перемешайте. После завершения реакции осадок отфильтруйте и высушите на воздухе. Напишите уравнения реакций.

Свойства оксидов свинца

1. Возьмите три пробирки. В одну из них поместите небольшое количество оксида свинца(II), во вторую — оксида свинца(IV), в третью — сурика. В каждую пробирку налейте 3—5 мл концентрированной соляной кислоты (*в вытяжном шкафу!*). Перемешайте содержимое пробирок и нагрейте. Что наблюдаете? Какой газ выделяется?

Какие свойства проявляют в этой реакции оксид свинца(IV) и сурик?

2. Испытайте действие 10%-ного и концентрированного растворов гидроксида натрия на оксид свинца(II) и оксид свинца(IV). Что наблюдаете?

3. В раствор нитрата марганца, подкисленный 10%-ным раствором азотной кислоты, внесите 0,5 г оксида свинца(IV) и нагрейте. Дайте осадку отстояться. Что наблюдаете?

Чем обусловлено изменение окраски раствора? Будет ли происходить аналогичная реакция с оксидом свинца(II) и суриком?

Напишите уравнения реакций.

Каков состав глета, массикота, оксида свинца(IV) и сурика? В каких условиях они образуются? Каково их строение? Какие степени окисления имеет свинец в этих оксидах?

Гидроксид свинца(II)

Осадите в пробирке гидроксид свинца(II) из раствора нитрата или ацетата свинца. Чем следует осаждать гидроксид свинца? Напишите уравнение реакции.

Подействуйте на полученный осадок азотной кислотой и концентрированным раствором гидроксида натрия. Что наблюдаете?

Какими свойствами обладает гидроксид свинца(II)? Напишите формулу плюмбитов натрия, образующихся в водных растворах и полученных «сухим» путем.

19.5. Соли свинца и их свойства

Иодид свинца

В пробирку с 1—2 мл раствора ацетата свинца, подкисленного уксусной кислотой, прилейте 1—2 мл раствора иодида калия. Что наблюдаете? Перелейте часть раствора с осадком (около 1 мл) в стакан, добавьте 10—15 мл воды и нагрейте. Какой цвет полученного раствора? Оставьте стакан с раствором охлаждаться на воздухе и наблюдайте за выпадением кристаллов («золотой дождь»). Рассмотрите форму кристаллов под микроскопом.

Объясните наблюдаемые явления. Как изменяется растворимость иодида свинца с температурой?

Основной карбонат свинца

Растворите 1 г ацетата свинца в 6 мл воды, подкисленной уксусной кислотой. В приготовленный раствор внесите при перемешивании небольшими порциями 0,5 г оксида свинца(II) и нагрейте. Что происходит?

Через полученный раствор основного ацетата свинца пропустите ток диоксида углерода. Каков состав вещества, выпадающего в осадок? Напишите уравнения реакций.

В каких условиях получают средний карбонат свинца (сравните с карбонатом магния)?

Сульфид свинца

Получите (*в вытяжном шкафу!*) осадок сульфида свинца взаимодействием растворов нитрата (ацетата) свинца и сульфида аммония (натрия). Небольшое количество осадка, промытого водой путем декантации, обработайте разбавленным и концентрированным растворами азотной кислоты. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Образует ли свинец тиосоли?

19.6. Синтезы по теме «Олово, свинец»

Получение олова восстановлением углем

Приготовьте смесь из 2,5 г оксида олова(IV), 1 г измельченного древесного угля и 0,5 г карбоната аммония. Перенесите смесь в фарфоровый тигель, закройте крышкой и прокалите при 800 °С в тигельной (шахтной) печи в

течение 30 мин. Напишите уравнение реакции. Полученный королек перенесите в другой тигель и переплавьте с бурой на газовой горелке. После охлаждения смеси тигель разбейте, буру отмойте горячей водой. Полученный металл взвесьте и рассчитайте выход в процентах. Напишите уравнение реакции.

Получение крупнокристаллического олова

Налейте в стакан концентрированный раствор хлорида олова(II), подкисленный соляной кислотой, и осторожно (пипеткой) прилейте дистиллированную воду так, чтобы образовались два слоя (можно изменить последовательность сливания растворов). Погрузите в стакан оловянную пластинку, часть ее должна выступать из слоя раствора хлорида олова и находиться в слое воды. Оставьте стоять на несколько часов. Что наблюдаете? Объясните наблюдаемое явление.

Получение и свойства оксида олова(II)

К 10 мл раствора хлорида олова(II) прилейте водный раствор аммиака до полного осаждения гидроксида олова(II), слейте маточный раствор, промойте осадок декантацией, отфильтруйте и высушите в сушильном шкафу при 70—80 °С.

Соберите прибор (рис. 96). Сухой гидроксид олова(II) в фарфоровой лодочке 3 поместите в реакционную трубку 2. Током сухого азота или углекислого газа вытесните воздух из прибора и, постепенно обогревая трубку пламенем газовой горелки, прокалите гидроксид олова(II) до полного удаления водяных паров. Когда вещество обезводится, выньте лодочку и высыпьте оксид олова(II) в нагретую фарфоровую чашку. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Какой цвет имеют оксиды олова(II) и (IV)? Какой степени окисления соответствуют наиболее устойчивые соединения олова?

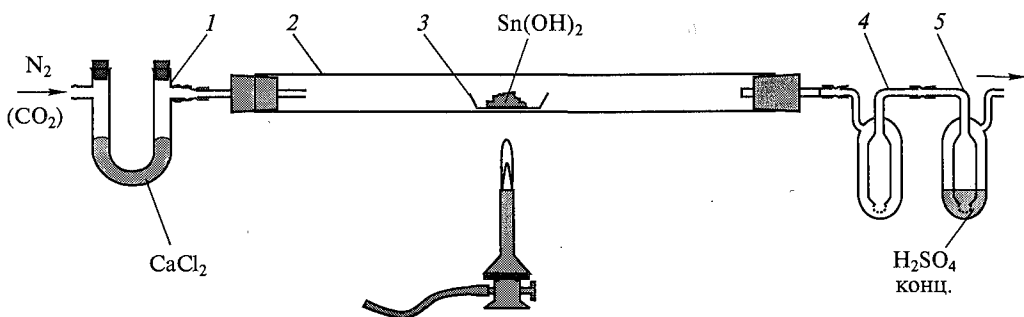


Рис. 96. Прибор для получения оксида олова(II):

1 — U-образная трубка с хлоридом кальция; 2 — трубка реакционная; 3 — лодочка с веществом; 4, 5 — промывалки

Иодид олова(II)

(Работа выполняется в вытяжном шкафу!)

1,2 г чистого олова поместите в круглодонную колбу со шлифом и залейте смесью растворов иодида калия и соляной кислоты, взятой в избытке. К колбе присоедините обратный холодильник и кипятите смесь, пока не растворится весь взятый металл, и не начнут выделяться красные кристаллы иодида олова. Реакционную смесь охладите. Выделившиеся кристаллы отфильтруйте на стеклянном пористом фильтре. Высушите кристаллы в эксикаторе над оксидом фосфора(V).

Хлорид олова(IV)

Соберите прибор (рис. 97). Пробирки Вюрца 6 и 8 предварительно тщательно просушите. В большую пробирку Вюрца 6 поместите 4—5 г металлического олова.

Пропустите через прибор ток сухого хлора. Когда пробирка Вюрца 8 заполнится хлором, слегка подогрейте ее. Что наблюдаете? Образовавшийся тетрахлорид олова перегоните в пробирку Вюрца 8, охлаждаемую в бане со льдом и водой 10.

Отсоедините пробирку Вюрца 8 с полученным веществом от прибора, установите в ней термометр (см. рис. 42). Отгоните хлорид олова(IV) во взвешен-

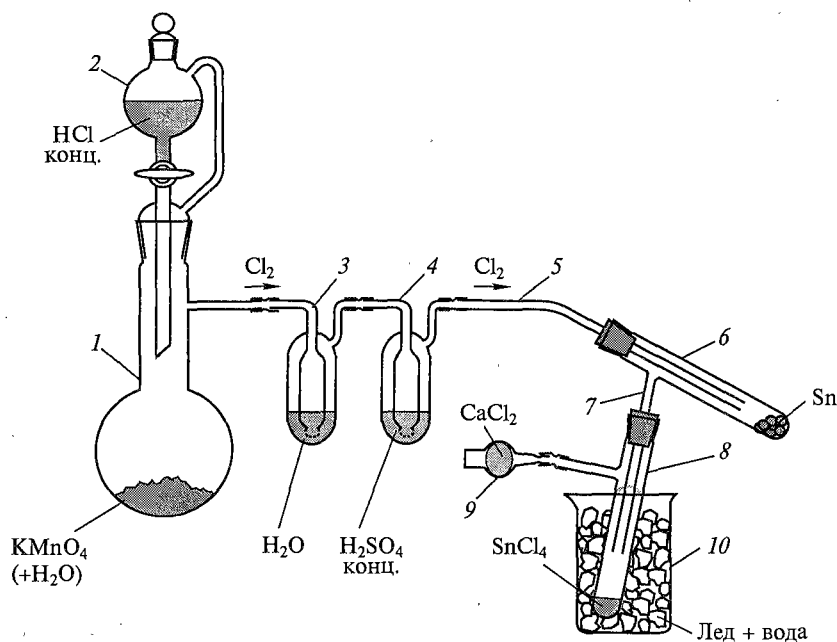


Рис. 97. Прибор для получения тетрахлорида олова:

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — промывалка с водой; 4 — промывалка с серной кислотой; 5 — газопроводящая трубка; 6, 8 — пробирки Вюрца; 7 — газоотводная трубка; 9 — хлоркальциевая трубка; 10 — баня со льдом и водой

ую пробирку. Отметьте температуру кипения тетраоксида олова и сравните со справочной величиной. Вещество взвесьте с пробиркой и рассчитайте выход в процентах. Полученный тетраоксид олова используйте в последующих опытах. Вылейте немного вещества в стакан с водой. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Как реагирует хлорид олова(IV) на воду? Чем обусловлена окраска полученного хлорида олова(IV)? Как можно его очистить?

Гексахлорооловянная(IV) кислота

Прилейте хлорид олова(IV) в концентрированную соляную кислоту из расчета 28 массовых частей хлороводорода на 100 массовых частей хлорида олова. Раствор охладите и пропускайте в него ток сухого хлороводорода (см. рис. 64) до прекращения поглощения. Испытайте отношение гексахлорооловянной кислоты к воде. К раствору гексахлорооловянной кислоты прилейте солянокислый раствор хлорида калия. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Гексахлороостаннат(IV) аммония

Приготовьте 60%-ный раствор хлорида олова(IV) в концентрированной соляной кислоте и прилейте к нему теплый насыщенный раствор, содержащий эквимолярное количество хлорида аммония. Охладите раствор смесью льда с хлоридом натрия, отфильтруйте выпавший кристаллический осадок на стеклянном пористом фильтре, осадок промойте на фильтре минимальным количеством охлажденной до 0 °С концентрированной соляной кислоты. Высушите соединение на воздухе, затем перенесите в заранее взвешенный бюкс, взвесьте и рассчитайте выход в процентах по отношению к взятому количеству тетраоксида олова.

Гексахлороостаннат(IV) нитрозония

Соберите в вытяжном шкафу прибор для получения хлорида нитрозила (см. рис. 85) и пропустите ток газообразного хлорида нитрозила через раствор тетраоксида олова в тетраоксиде углерода при охлаждении в бане со льдом и водой. Выпавшие кристаллы отделите от раствора на стеклянном пористом фильтре, поместите в бюкс и взвесьте. Рассчитайте выход в процентах.

Тригидрат ацетата свинца(II) (свинцовый сахар)

Растворите 3 г оксида свинца(II) в рассчитанном количестве горячего 50%-ного раствора уксусной кислоты. Раствор отфильтруйте, к фильтрату добавьте 1 мл уксусной кислоты той же концентрации. Полученный раствор упарьте до половины первоначального объема и оставьте кристаллизоваться. Кристаллы отделите от маточного раствора на стеклянном пористом фильтре и промойте небольшими порциями спирта по 3—5 мл, а затем эфиром. Полученные кристаллы взвесьте и рассчитайте выход в процентах. Небольшую часть кристаллов нагрейте в сухой пробирке сначала осторожно, а затем сильнее (~280 °С).

Что происходит с ацетатом свинца на воздухе и при нагревании? Можно ли сушить свинцовый сахар в эксикаторе над серной кислотой?

Смочите раствором ацетата свинца полоску фильтровальной бумаги, положите их на стекло и дайте просохнуть на воздухе. Высушенную полоску бумаги внесите в пламя горелки. Что происходит?

Напишите уравнения реакций.

Кристаллический сульфид свинца

Растворите в 50 мл дистиллированной воды 3,8 г ацетата свинца и добавьте к раствору твердый гидроксид натрия до полного растворения осадка. Приготовьте раствор 0,9 г тиомочевины в 50 мл дистиллированной воды. При наличии нерастворимого осадка профильтруйте полученные растворы.

Слейте равные объемы обоих растворов в стакан и при перемешивании нагрейте смесь до кипения. При 38—40 °С жидкость окрашивается в коричневый цвет, а при ~50 °С на дне и на стенках начинает образовываться блестящее зеркало сульфида свинца. Для полного выделения сульфида свинца жидкость необходимо кипятить в течение 10 мин.

Кристаллический осадок отфильтруйте на воронке Бюхнера, промойте холодной водой до отсутствия щелочной реакции и высушите на воздухе в вытяжном шкафу. Рассмотрите полученные кристаллы под микроскопом.

Получение и свойства оксида свинца(II) (желтая и красная модификации)

Соберите прибор (рис. 98). Заполните две лодочки карбонатом свинца и прокалите их в токе сухого азота: одну при 490 °С, другую при 650 °С до прекращения выделения углекислого газа. Напишите уравнение реакции. Испытайте отношение оксида свинца(II) к растворам уксусной и азотной кислот и раствору щелочи. Напишите уравнения реакций.

Каким химическим способом можно зарегистрировать прекращение выделения углекислого газа? Какие вещества получаются при прокаливании карбоната свинца в инертной газовой среде при разных температурах? Чем они разнятся?

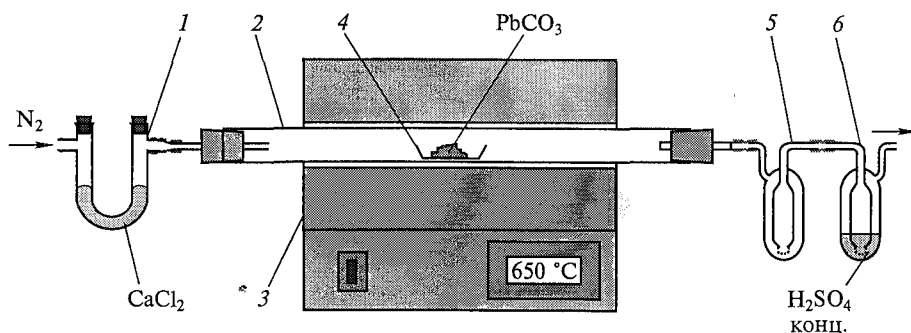


Рис. 98. Прибор для получения оксида свинца(II):

1 — U-образная трубка с хлоридом кальция; 2 — трубка реакционная; 3 — печь; 4 — лодочка с веществом; 5, 6 — промывалки

Получение и свойства оксида свинца(IV)

Приготовьте раствор 3 г ацетата(II) свинца в 5 мл воды и равный по объему насыщенный прозрачный раствор хлорной извести. Подогрейте раствор ацетата свинца до 50 °С и при перемешивании прилейте к раствору хлорной извести. Реакционную смесь нагрейте до 100—110 °С. Выделившийся осадок промойте сначала водой методом декантации, затем разбавленным раствором азотной кислоты. Полученное вещество отфильтруйте на стеклянном пористом фильтре, промойте на фильтре два—три раза водой, высушите при 100 °С и взвесьте. Рассчитайте выход в процентах относительно взятого количества ацетата свинца. Немного оксида свинца(IV) внесите в раствор пероксида водорода. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

ГЛАВА 20

БОР

20.1. Свойства бора

1. Железный тигель с небольшим количеством порошкообразного бора поместите в разогретую до 750 °С тигельную печь и выдержите 5—10 мин при этой температуре. Что происходит?

2. Подействуйте на порошок бора концентрированной азотной кислотой на холоду и при нагревании. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Как относится бор к действию кислот и щелочей? Напишите уравнения реакций.

20.2. Получение и свойства борной кислоты

Получение борной кислоты из буры

Растворите при нагревании в стакане 12 г буры в 25 мл воды. Отмерьте рассчитанное количество 25%-ного раствора соляной кислоты, необходимого для получения борной кислоты, возьмите 10%-ный избыток кислоты и прилейте ее к горячему раствору буры. Дайте раствору медленно остыть. Выделившиеся кристаллы отфильтруйте на стеклянном фильтре (или воронке Бюхнера) и перекристаллизуйте из горячей воды, руководствуясь таблицей растворимости (см. табл. П2.4). Рассмотрите кристаллы под микроскопом и зарисуйте их форму. Определите выход продукта.

Какова реакция раствора буры на универсальный индикатор и чем она обусловлена? Напишите уравнение реакции гидролиза буры в молекулярной и ионной формах. Как можно усилить гидролиз буры?

Свойства борной кислоты

1. Приготовьте 2—3 мл насыщенного раствора борной кислоты и определите рН раствора (универсальный индикатор).

2. На часовое стекло налейте каплю концентрированного раствора серной кислоты, каплю глицерина и присыпьте небольшое количество буры. Осторожно перемешайте смесь «ушком» предварительно прокаленной нихромовой (платиновой) проволоки и внесите в пламя горелки. Как окрашивается пламя? Напишите уравнение реакции.

3. Небольшое количество борной кислоты поместите на железную пластину и нагрейте пламенем газовой горелки. Что происходит при нагревании борной кислоты? Когда масса начнет «вспучиваться», прикоснитесь к ней стеклянной палочкой и потяните. Что наблюдаете? Часть полученной массы обработайте водой в пробирке и определите рН раствора. Напишите уравнения всех реакций.

20.3. Окрашенные перлы буры

Нагрейте в ушке нихромовой или платиновой проволоки (проволоку предварительно прокалите!) небольшое количество буры в пламени горелки. После прекращения выделения воды слегка охладите полученный плав и смочите его раствором соли хрома(III) или кобальта. Вновь нагрейте массу до плавления в пламени горелки. Какую окраску приобрело вещество после охлаждения? Напишите уравнения реакций.

20.4. Синтез по теме «Бор»

Нитрид бора

Перемешайте 1,0 г переплавленного и измельченного оксида бора с 1,5—2,0 г мочевины и нагрейте в закрытом крышкой фарфоровом тигле (под конец до светло-красного каления).

Образовавшуюся массу разотрите в ступке и промойте водой, подкисленной одной—двумя каплями соляной кислоты. Осадок отфильтруйте на стеклянном пористом фильтре, промойте водой, высушите в сушильном шкафу при 60 °С и взвесьте. Рассчитайте выход в процентах. Напишите уравнение реакции.

ГЛАВА 21

ЩЕЛОЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

(При работе с щелочными металлами остерегайтесь воды. Из керосина металлы вынимайте только пинцетом, ни в коем случае не берите руками! Обрезки щелочных металлов, а также неиспользованный металл сдавайте лаборанту. Не бросайте обрезки металлов в корзины для мусора и в раковины!)

21.1. Свойства щелочных металлов

Взаимодействие щелочных металлов с водой

(Опыты проводите в вытяжном шкафу под наблюдением преподавателя, в очках или защитной маске!)

Наполните кристаллизатор водой. Сделайте маленькую (~2×2 см²) коробочку из фильтровальной бумаги и поместите в нее кусочек очищенного лития

размером несколько меньше горошины. Осторожно поместите коробочку с литием в кристаллизатор с водой. Что наблюдаете? Возьмите пробу воды из кристаллизатора и определите ее реакцию на фенолфталеин или универсальный индикатор.

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

Сопоставьте химическую активность изученных щелочных металлов. От чего она зависит? Почему литий располагается в начале ряда напряжений металлов?

Амальгама натрия

(Работу проводите в вытяжном шкафу под наблюдением преподавателя; все опыты с ртутью должны выполняться в кюветах с высокими стенками!)

Поместите в сухую фарфоровую ступку каплю ртути. При помощи пинцета выньте из керосина кусочек металлического натрия, положите его на фильтровальную бумагу, лежащую в вытяжном шкафу на сухом стекле, и со всех сторон осушите от керосина. Острием скальпеля очистите поверхность натрия и отрежьте несколько маленьких кусочков. Один из кусочков натрия положите в ступку с сухой ртутью и осторожно разотрите его пестиком. Что наблюдаете? Подобным образом разотрите еще несколько кусочков натрия, пока амальгама не загустеет.

Небольшое количество амальгамы опустите в стакан с водой. Что происходит? Остальную часть амальгамы перенесите в широкую пробирку или стакан и налейте сверху 3—5 мл насыщенного раствора хлорида аммония. Что наблюдаете? Что происходит с содержимым пробирки через некоторое время? Напишите уравнения реакций.

21.2. Получение и свойства кислородных соединений натрия и калия

(Опыт выполняйте в вытяжном шкафу!)

1. На железную пластину, установленную горизонтально на треноге, поместите небольшой кусочек металлического натрия или калия, нагрейте пластину снизу и, когда металл расплавится, подожгите его сверху пламенем горелки (*опустите створки вытяжного шкафа!*). После завершения горения металла и охлаждения полученного вещества растворите его в 2—3 мл дистиллированной воды (*осторожно, может остаться несгоревший щелочной металл!*).

2. К образовавшемуся раствору добавьте раствор иодида калия, подкисленный разбавленной серной кислотой, и две—три капли неполярного растворителя. Что наблюдаете?

Какие вещества образуются при горении натрия и калия на воздухе? Как получить оксиды этих элементов?

3. Проведите аналогичный опыт с металлическим литием. Что образуется в этом случае?

Напишите уравнения всех реакций.

1. Какие продукты образуются при взаимодействии с кислородом воздуха рубидия и цезия?
2. Почему при горении щелочных металлов на воздухе один из них образует оксид, другой — пероксид, а более тяжелые — надпероксиды?
3. Как изменяется (от лития к цезию) устойчивость оксидов и пероксидов щелочных металлов при нагревании? Почему образование пероксидов, надпероксидов, а также озонидов характерно для щелочных металлов? Как получить пероксид лития?

21.3. Гидроксиды щелочных элементов

1. Растворите в 100 мл воды 14 г безводного карбоната натрия. Раствор перелейте в круглодонную колбу емкостью 250—300 мл. На дно колбы поместите пять—шесть кусочков битого фарфора в качестве «кипелок». Закрепите колбу в штативе так, чтобы между сеткой и дном оставалось небольшое пространство. Нагрейте раствор в колбе до кипения и прибавьте к нему небольшими порциями измельченную гашеную известь, взятую с 20%-ным избытком. Вставьте в горло колбы воронку для предотвращения разбрызгивания раствора и кипятите раствор в течение часа, добавляя время от времени воду для сохранения постоянного объема.

2. Поместите плоскодонную колбу с 20 мл воды на магнитную мешалку и растворите при перемешивании 3 г безводного карбоната натрия. Добавьте небольшими порциями при непрерывном перемешивании измельченную гашеную известь, взятую с 20%-ным избытком и продолжайте перемешивание смеси 1—1,5 ч.

По завершении реакции (и охлаждении раствора в способе 1) декантируйте раствор, измерьте его объем и плотность (см. подразд. 4.8). Проведите качественные реакции на карбонат-ионы. По результатам измерения плотности (если нет заметного количества примеси карбоната) определите концентрацию полученной щелочи. Напишите уравнение реакции и рассчитайте теоретические значения концентраций щелочи и карбонат-ионов. Сравните концентрацию полученной щелочи с теоретически ожидаемой. Определите выход в процентах.

Ознакомьтесь с величинами произведений растворимости карбоната и гидроксида кальция. Объясните течение этого процесса в сторону образования гидроксида натрия. Можно ли этим способом получить раствор гидроксида натрия высокой концентрации? Как изменяется растворимость гидроксидов щелочных элементов в ряду литий—цезий?

21.4. Соли щелочных элементов

Получение и свойства гидрокарбоната натрия

Приготовьте насыщенный при комнатной температуре раствор хлорида натрия в 50 мл 10%-ного раствора аммиака (*в вытяжном шкафу!*). Раствор профильтруйте и перелейте в плоскодонную колбу 1 (рис. 99). Колбу неплотно закройте пробкой 2 (лучше корковой) с термометром 4 и двумя отверстиями большого диаметра. В одно из отверстий свободно, без усилий, вставьте газоподводящую трубку 3 от баллона с углекислым газом или от аппарата Киппа, другое отверстие оставьте открытым для выхода из колбы избытка газа. Трубка 3 должна доходить почти до дна колбы.

Рис. 99. Прибор для получения гидрокарбоната натрия:

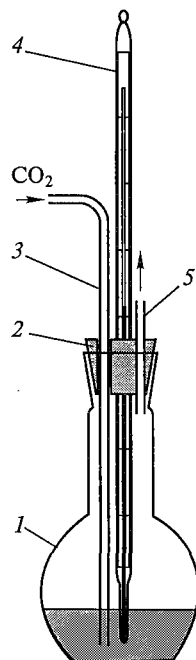
1 — колба плоскодонная; 2 — пробка; 3 — газоподводящая трубка; 4 — термометр; 5 — газоотводная трубка

Пропускайте через полученный раствор углекислый газ и фиксируйте температуру раствора каждые 5—10 мин. Постройте график зависимости температуры раствора от времени. Об окончании реакции можно судить по прекращению разогрева реакционной смеси и окончанию выделения осадка при пропускании углекислого газа.

Выпавшие кристаллы отфильтруйте на стеклянном пористом фильтре, промойте минимальным количеством воды, охлажденной в бане со льдом, и высушите при комнатной температуре на воздухе.

Небольшое количество гидрокарбоната натрия растворите в воде. Определите pH раствора универсальным индикатором и проведите анализ на присутствие хлоридов. Напишите уравнения реакций.

Объясните последовательность процессов при пропускании углекислого газа через аммиачный раствор хлорида натрия.



Получение и свойства карбоната натрия (кальцинированной соды)

1. На дно фарфорового тигля поместите около 0,5 г полученного ранее гидрокарбоната натрия и прокалите его на газовой горелке до постоянной массы. По разности масс (взвешивайте с точностью $\pm 0,01$ г) определите содержание гидрокарбоната натрия в исходном веществе. Напишите уравнение реакции.

2. Полученное после прокаливания вещество растворите в воде и испытайте отношение раствора к универсальному индикатору. Что наблюдаете?

1. Напишите формулы веществ, известных под названиями сода кристаллическая, сода кальцинированная, сода двууглекислая, сода каустическая.

2. Ознакомьтесь с растворимостью в воде карбонатов щелочных элементов.

Малорастворимые соли лития и калия

1. Налейте в три пробирки по 1—2 мл насыщенного раствора сульфата или хлорида лития и прилейте: в первую пробирку насыщенный раствор карбоната натрия, во вторую — раствор фосфата натрия, в третью — дигидрофосфата натрия. Что наблюдаете?

2. К 0,5 мл насыщенного раствора хлорида или сульфата лития в пробирке прилейте по каплям рассчитанное по уравнению реакции количество гидрофторида калия. Что происходит?

3. К 1 мл насыщенного раствора хлорида калия в пробирке прилейте несколько капель раствора гидротартрата или перхлората натрия. Если осадок сразу не выпадает, можно ускорить его появление трением стеклянной палочки о внутренние стенки пробирки.

Рассмотрите выпавшие кристаллы под микроскопом. Напишите уравнения реакций.

Какие еще известны малорастворимые соли щелочных металлов?

21.5. Синтезы по теме «Щелочные элементы»

Пероксид натрия

Соберите прибор (рис. 100). 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 реакционную трубку 3 из кварцевого или тугоплавкого стекла. Накройте трубку сверху листом асбеста 5.

Пропустите над натрием осушенный воздух (или кислород из баллона). 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. По охлаждении реактора 3 быстро извлеките лодочку из прибора, перенесите полученное вещество в бюкс, определите его массу и рассчитайте выход в процентах.

Растворите небольшое количество полученного пероксида натрия в воде. Испытайте отношение этого раствора к подкисленным растворам перманганата и иодида калия. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Бромид натрия

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

Внесите в коническую колбу 2,0 г железных опилок или восстановленного железа и 16 мл воды. Колбу поместите в баню со льдом и постепенно, по каплям, прибавьте из капельной воронки 3,8 г брома при непрерывном взбалтывании реакционной смеси. Что наблюдаете? Полученный раствор профильтруйте в фарфоровую чашку через гладкий бумажный фильтр и добавьте еще 1,4 г брома

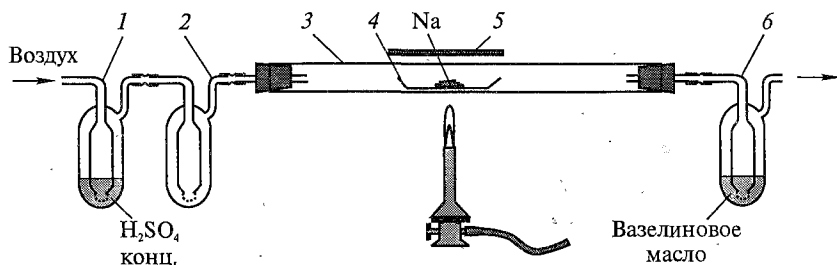


Рис. 100. Прибор для получения пероксида натрия:

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

(см. подразд. 3.2). Нагрейте смесь до кипения и постепенно при перемешивании прибавьте раствор 9,3 г декагидрата карбоната натрия в 40 мл воды. Продолжайте нагревание до полного выпадения осадка. Раствор над осадком должен иметь слабощелочную реакцию, в противном случае добавьте немного раствора карбоната натрия и продолжите нагревание еще несколько минут.

Профильтруйте полученный раствор, осадок промойте небольшим количеством горячей воды. Фильтрат упарьте в фарфоровой чашке на водяной бане до начала кристаллизации и охладите в бане со льдом. Выпавшие кристаллы отфильтруйте на стеклянном пористом фильтре, высушите в сушильном шкафу при 60 °С, взвесьте и рассчитайте выход в процентах. Напишите уравнения реакций.

Сульфат натрия и его гидраты

Рассчитайте количество глауберовой соли, требуемое для приготовления насыщенного раствора сульфата натрия в 10 мл воды при 32 °С и растворите навеску соли в воде при слабом нагревании (не более 40 °С). Профильтруйте полученный горячий раствор в три сухие пробирки.

Получение безводного сульфата натрия. Нагрейте раствор в одной пробирке до кипения. Что наблюдаете? Отделите кристаллы от маточного раствора, рассмотрите их форму под микроскопом.

Декагидрат сульфата натрия. В раствор сульфата натрия, находящийся в другой пробирке и охлажденный до комнатной температуры, опустите кристалл глауберовой соли. Рассмотрите под микроскопом форму кристаллов, выпадающих из раствора при комнатной температуре.

Гептагидрат сульфата натрия. Раствор сульфата натрия, содержащийся в третьей пробирке, нагрейте на водяной бане (40—50 °С) до полного растворения выпавших кристаллов. Когда жидкость станет прозрачной, закройте пробирку ватой и осторожно, не встряхивая ее содержимое, поставьте в охлаждающую смесь (лед с небольшим количеством хлорида натрия). После выпадения кристаллов осторожно выньте пробирку с раствором сульфата натрия. Отделите кристаллы от маточного раствора. Рассмотрите в микроскоп форму кристаллов, выделяющихся в данном случае.

Опустите в маточный раствор небольшой кристалл глауберовой соли. Что происходит?

Объясните происходящие явления. Используя литературные данные, постройте фазовую диаграмму системы $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{—H}_2\text{O}$. Укажите участки диаграммы, характеризующие неинвариантные, моновариантные и дивариантные равновесия.

Нитрат калия

Поместите в стакан 15 мл воды и растворите в ней при нагревании 7 г нитрата натрия. Прибавьте к полученному раствору рассчитанное количество хлорида калия, необходимое для получения нитрата калия. Закройте стакан часовым стеклом и нагревайте его на сетке слабым пламенем горелки до выпадения кристаллов. Быстро слейте горячую жидкость в фарфоровую чашку и оставьте кристаллизоваться.

Выделившиеся в фарфоровой чашке кристаллы отфильтруйте, высушите на воздухе и определите выход в процентах. Рассмотрите под микроскопом форму

кристаллов, оставшихся в стакане и в фарфоровой чашке и проанализируйте на присутствие в них хлоридов. Какой состав имеют выпавшие кристаллы?

С использованием справочных данных постройте графики температурной зависимости растворимости, моль/100 г воды, нитратов калия, натрия и хлоридов калия и натрия и предскажите фазовые составы веществ, выпадающих при нагревании раствора и при его охлаждении.

ГЛАВА 22

МАГНИЙ, КАЛЬЦИЙ, СТРОНЦИЙ, БАРИЙ

22.1. Свойства магния

1. Зажмите тигельными щипцами небольшую ленту магния и сожгите ее на воздухе над фарфоровой чашкой (наденьте защитные очки!). К полученному веществу прилейте немного воды и определите pH раствора. Напишите уравнения реакций.

С какими составными частями воздуха вступает во взаимодействие магний?

2. Налейте в две пробирки по 2—3 мл воды и положите по кусочку магния. В одну из пробирок добавьте 0,5—1 г хлорида аммония. Что при этом происходит? Нагрейте растворы до кипения. Что наблюдаете? Напишите уравнения химических реакции.

Объясните происходящие процессы. Почему в присутствии ионов аммония магний активнее взаимодействует с водой?

22.2. Получение и свойства гидроксида магния

Осадите в пробирке гидроксид магния действием раствора щелочи на раствор соли магния. Разделите осадок на три части и испытайте отношение гидроксида магния к 10%-ным растворам кислот, щелочи и хлорида аммония. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Можно ли полностью осадить гидроксид магния, если вместо гидроксида натрия использовать раствор аммиака? Напишите уравнение реакции диссоциации гидроксида магния.

22.3. Соли магния

Карбонаты магния

1. К нагретому на водяной бане до 50 °С раствору сульфата или хлорида магния в пробирке (2—3 мл) прилейте раствор карбоната натрия до полноты осаждения. Отфильтруйте выпавший осадок, промойте водой и вместе с фильтром высушите на воздухе. Каков его состав? Небольшое количество сухого вещества внесите в пробирку с 1—2 мл 10%-ной соляной кислоты. Что наблюдаете?

Нагрейте фильтрат до кипения и кипятите до выпадения осадка. Какой состав имеет осадок? Декантируйте раствор с осадка, осадок промойте водой и

Добавьте к нему немного 10%-ного раствора соляной кислоты. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

2. Прилейте к 1—2 мл раствора сульфата или хлорида магния в пробирке раствор карбоната аммония, вначале немного, затем избыток. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

1. Какие реакции последовательно протекают в растворах солей бериллия и магния при действии на них карбоната и гидрокарбоната натрия, карбоната аммония?
2. В результате каких процессов образуются гидроксо-ионы бериллия и магния?
3. Как можно получить средний карбонат магния?

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 растворения осадка. Внесите в пробирку несколько капель раствора ортофосфата натрия. Что наблюдаете? Рассмотрите форму выпавших кристаллов под микроскопом.

Добавьте в пробирку с осадком соляную кислоту. Что происходит? Напишите уравнения реакций.

Объясните протекающие процессы образования и растворения осадков.

22.4. Соли кальция, стронция, бария

Налейте в серию пробирок по 1—2 мл растворов хлоридов кальция, стронция и бария. Поочередно добавляйте к ним равные объемы растворов фторида, сульфата, карбоната, оксалата и разных фосфатов калия. Испытайте полученные осадки к действию соляной кислоты при обычных условиях и при кипячении. Напишите уравнения реакций.

22.5. Синтезы по теме «Магний, кальций, стронций, барий»

Пероксид бария

Растворите 4,0 г гидроксида бария в 200 мл предварительно прокипяченной дистиллированной воды. Раствор охладите до 0 °С и добавьте 10 мл 3%-ного раствора пероксида водорода, охлажденного до 0 °С. Полученный осадок многократно промойте водой методом декантации, отфильтруйте и высушите в сушильном шкафу при 50—60 °С.

Докажите, что полученное вещество представляет пероксид бария. Предложите соответствующий опыт. Определите выход пероксида бария в процентах. Напишите уравнения реакций.

Гексагидрат хлорида магния

В химический стакан налейте 50 мл 20%-ного раствора соляной кислоты и добавьте небольшими порциями рассчитанное количество оксида магния. Если после растворения оксида раствор не станет прозрачным, его необходимо профильтровать. Упарьте раствор до половины первоначального объема, поместите

в охлаждающую смесь (лед с хлоридом натрия) и пропустите ток хлороводорода (см. рис. 64). Выделившиеся кристаллы отфильтруйте, высушите на часовом стекле при комнатной температуре и взвесьте. Определите выход в процентах.

Поместите во взвешенный тигель ($\pm 0,01$ г) небольшое количество гексагидрата хлорида магния, взвесьте вещество с тиглем и прокалите. Что наблюдаете? Доведите разложение соли до конца. Как в этом убедиться? Охладите тигель и вновь взвесьте, рассчитайте потерю массы. Что образовалось в результате прокаливания? Добавьте к этому веществу 1—2 мл воды. Что наблюдаете? Какой состав не растворившегося в воде вещества? Напишите уравнения реакций.

Безводный хлорид магния

Обезвоживание гексагидрата хлорида магния нагреванием с хлоридом аммония. Навеску гексагидрата хлорида магния тщательно перемешайте с хлоридом аммония в массовом отношении 1:2, поместите во взвешенный с точностью $\pm 0,01$ г фарфоровый тигель, закройте крышкой и прокалите в пламени газовой горелки. Охладите тигель в эксикаторе и взвесьте.

Рассчитайте потерю массы и по ее величине определите состав полученного после прокаливания вещества. В пробирку налейте 3—5 мл воды и внесите небольшое количество полученного безводного хлорида магния. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Обезвоживание гексагидрата хлорида магния в токе хлороводорода. Соберите прибор (рис. 101). 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 в средней части реакционной трубки 5. Заполните реактор 5 газообразным хлороводородом и осторожно нагревайте вещество в лодочке при непрерывном пропускании газа.

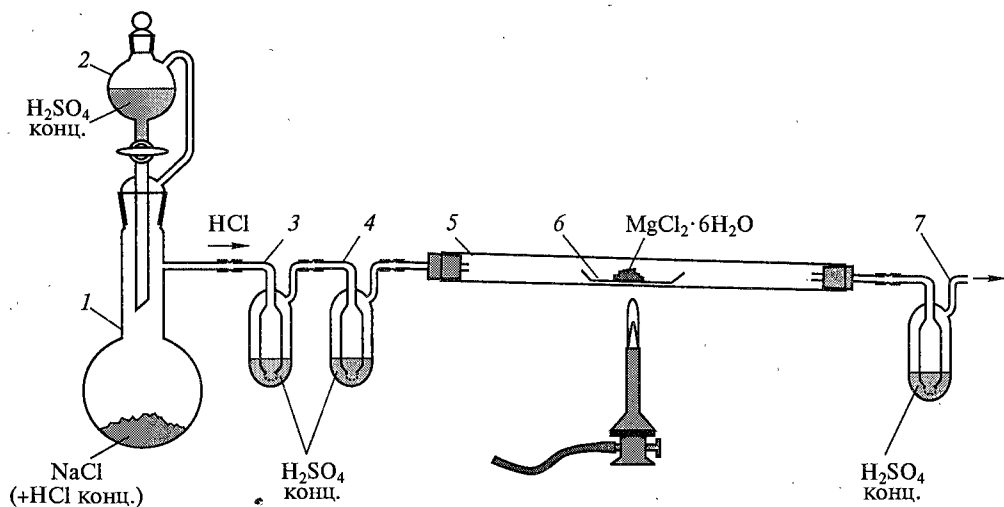


Рис. 101. Прибор для обезвоживания гексагидрата хлорида магния:

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

По завершении выделения воды уберите горелку и охладите вещество в токе хлороводорода, быстро извлеките лодочку с веществом из реактора и взвесьте. Перенесите вещество в бюкс. По результатам взвешивания определите состав кристаллогидрата.

В пробирку налейте 3—5 мл воды и внесите небольшое количество полученного безводного хлорида магния. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Обезвоживание гексагидрата хлорида магния кипячением с хлоридом тионила. Соберите прибор для кипячения с обратным холодильником (рис. 102). Взвесьте 1—1,5 г гексагидрата хлорида магния с точностью $\pm 0,01$ г, поместите в колбу 1 и добавьте 10 мл хлорида тионила. Колбу закройте шариковым холодильником 2 с хлоркальциевой трубкой 3.

Осторожно нагрейте колбу 1 через асбестовую сетку 4 и кипятите 1 ч (не допускайте полного улетучивания хлорида тионила, в случае необходимости доливайте реагент через холодильник).

По завершении опыта остатки хлорида тионила декантируйте, твердое вещество просушите в колбе при нагревании в токе сухого азота или углекислого газа. Сухое вещество перенесите в бюкс известной массы и взвесьте ($\pm 0,01$ г). Рассчитайте выход в процентах.

Налейте в пробирку 3—5 мл воды и внесите небольшое количество полученного безводного хлорида магния. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Хлорирование магния газообразным хлором (см. «Получение хлорида хрома прямым хлорированием металла», разд. IV). Навеска магния 0,2—0,3 г, температура хлорирования 800°C , время 1 ч.

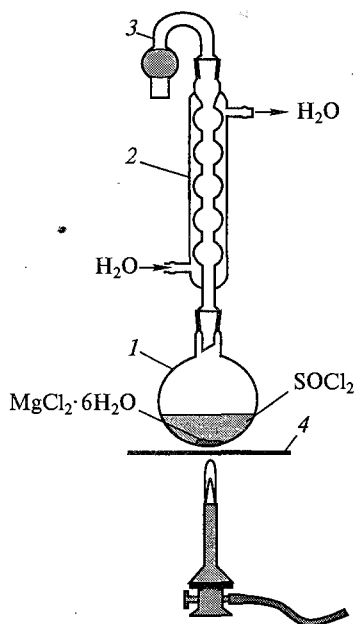


Рис. 102. Прибор для кипячения с обратным холодильником: 1 — колба круглодонная; 2 — шариковый холодильник; 3 — хлоркальциевая трубка; 4 — асбестовая сетка

Кристаллогидрат хлорида кальция

Налейте в химический стакан 30 мл 15%-ного раствора соляной кислоты и добавьте небольшими порциями рассчитанное количество мрамора или мела до установления слабокислой среды. Профильтруйте полученный раствор и упаривайте его в фарфоровой чашке при нагревании слабым пламенем горелки через асбестовую сетку до тех пор, пока температура раствора не достигнет $128—129^\circ\text{C}$ (растворимость хлорида кальция в воде при 130°C равна $101,0$ г/100 г воды).

Оставьте раствор охлаждаться. Отделите выпавшие кристаллы от маточного раствора на стеклянном пористом фильтре, высушите на воздухе и взвесьте. Рассмотрите в микроскоп и зарисуйте форму кристаллов. Определите выход в процентах.

Взвесьте в железном тигле известной массы $\sim 1—2$ г ($\pm 0,01$ г) полученного кристаллогидрата и прокалите в течение получаса в пламени газовой горелки.

Охладите тигель в эксикаторе до комнатной температуры и взвесьте. По результатам взвешивания рассчитайте 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. Какого состава кристаллогидрат образовался на воздухе?

Чем объясняется увеличение массы прокаленного вещества? Как применяется безводный хлорид кальция в лабораторной технике?

Получение хлорида бария из сульфата бария

Получение сульфида бария. Смешайте 4 г сульфата бария и 2 г растертого в порошок древесного угля, поместите смесь в фарфоровый тигель и засыпьте сверху порошком древесного угля. Закройте тигель крышкой и прокалите 1 ч в тигельной печи при 900 °С. По охлаждении извлеките спекшуюся массу из тигля и разотрите в фарфоровой ступке.

Небольшую часть растертой массы обработайте водой, профильтруйте раствор и испытайте его действие на индикаторную бумагу. Пропустите через раствор ток диоксида углерода. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Получение кристаллогидрата хлорида бария. Налейте в химический стакан 20 мл 20%-ного раствора соляной кислоты и внесите в нее небольшими порциями полученный сульфид бария (*в вытяжном шкафу!*). Прокипятите раствор для удаления сероводорода. Если раствор имеет щелочную реакцию, нейтрализуйте его соляной кислотой. При наличии нерастворимого осадка, профильтруйте раствор.

Перелейте раствор в фарфоровую чашку и упаривайте, пока капля (взятая стеклянной палочкой) пробы раствора, помещенная на часовое стекло, не начнет кристаллизоваться при охлаждении. Охладите раствор. Выпавшие кристаллы отфильтруйте на стеклянном пористом фильтре и перенесите во взвешенный бюкс. Взвесьте бюкс с веществом и определите выход в процентах. Рассмотрите кристаллы под микроскопом и зарисуйте их форму. Напишите уравнение реакции.

Получение безводного хлорида бария. Взвесьте в фарфоровом тигле известной массы ($\pm 0,01$ г) полученное вещество и прокалите 0,5 ч в пламени газовой горелки до постоянной массы. Перед каждым взвешиванием тигель охлаждайте до комнатной температуры в эксикаторе. По результатам взвешивания определите состав кристаллогидрата.

Почему безводные хлориды магния и бария получают разными способами?

ГЛАВА 23

АЛЮМИНИЙ

23.1. Свойства алюминия

1. Испытайте действие на алюминий концентрированных и разбавленных кислот и оснований на холоду и при нагревании. (*Опыты проводите в вытяжном шкафу в защитных очках!*). Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

2. Две алюминиевые пластинки очистите от оксида алюминия наждачной бумагой, а затем от жира промыванием в небольшом количестве спирта. Пластинки поместите в фарфоровую чашку, находящуюся в кювете с высокими бортами, а на них — несколько капель раствора нитрата ртути(II). Через 5 мин промойте пластинки водой, одну из них положите на часовое стекло и оставьте на воздухе, другую опустите в стакан с водой. Объясните происходящие явления, напишите уравнения реакций.

23.2. Получение и свойства гидроксида алюминия

Из раствора соли алюминия действием раствора аммиака осадите гидроксид алюминия. Промойте осадок методом декантации, разделите на три части и подействуйте на него: раствором серной кислоты; избытком раствора гидроксида натрия; избытком раствора аммиака. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Применение какого реактива обеспечивает полное осаждение гидроксида алюминия? Каким путем можно получить алюминат натрия в твердом виде? Каков его состав?

23.3. Соли алюминия

1. Определите рН раствора сульфата алюминия. Напишите уравнение протолитического равновесия.

Какая из солей гидролизуетесь сильнее в растворах равной концентрации: хлорид алюминия или алюминат натрия и почему?

2. К раствору хлорида или сульфата алюминия в двух пробирках прибавьте растворы карбоната натрия, сульфида аммония или сульфида натрия соответственно. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Что произойдет, если через раствор хлорида алюминия пропустить ток сероводорода? Как можно получить кристаллогидраты сульфата и хлорида алюминия?

23.4. Синтезы по теме «Алюминий»

Алюминотермия

Алюминий используется в качестве восстановителя для получения некоторых простых веществ из их оксидов. Схема опыта — на рис. 103. Для проведения опыта вначале тщательно смешайте в фарфоровой ступке восстанавливаемый

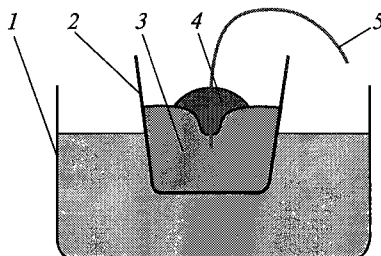


Рис. 103. Алюминотермия:

1 — баня песчаная; 2 — тигель; 3 — реакция смесь;
4 — зажигательная смесь; 5 — магниевая лента

оксид со свежеприготовленным порошком алюминия. Затем на дно хорошо просушенного шамотового тигля поместите 2—3 г порошка фторида кальция, а поверх нее реакционную смесь.

Сделайте в центре смеси небольшое углубление и вставьте в него длинную ленту магния, очищенную мелкой наждачной бумагой. Свободный конец магниевой ленты должен находиться за пределами тигля, не касаясь его. Затем в углубление насыпьте 2—3 г зажигательной смеси, приготовленной встряхиванием в колбе порошка магния и пероксида бария, взятых в массовом соотношении 1 : 9 или порошка алюминия и пероксида бария, взятых в массовом соотношении 1 : 3. (*Зажигательную смесь ни в коем случае нельзя растирать в ступке!*)

Поставьте тигель в песчаную баню в вытяжном шкафу таким образом, чтобы он примерно на $\frac{1}{3}$ был погружен в песок. Опустите створки вытяжного шкафа, осторожно подожгите магниевую ленту горячей лучиной, вставленной в стеклянную трубку длиной 50—80 см и отойдите подальше. (*Опыт проводите только в присутствии преподавателя! Наденьте защитные очки или маску! Запрещается заглядывать в тигель, если реакция сразу не началась!*) По завершении бурной экзотермической реакции дождитесь охлаждения тигля (*не наклоняйтесь над тиглем!*) до близкой к комнатной температуры, разбейте его и извлеките «королёк» металла. Напишите уравнения реакций.

С использованием таблиц термодинамических данных предскажите, оксиды каких химических элементов могут быть восстановлены алюминием до свободного металла?

Безводный хлорид алюминия

Для получения безводного хлорида алюминия используйте прибор и методику для синтеза хлорида железа (см. рис. 67), только вместо железа возьмите 0,5 г алюминиевой проволоки или фольги.

Алюминокалиевые квасцы (рост кристаллов)

Приготовьте горячие насыщенные растворы сульфатов алюминия и калия. Для этого 7 г кристаллогидрата сульфата алюминия растворите при нагревании в 20 мл воды. Взвесьте рассчитанное количество сульфата калия и растворите его при нагревании в 10 мл воды. Смешайте горячие растворы, причем раствор сульфата калия приливайте к раствору сульфата алюминия.

Полученную смесь растворов охладите до комнатной температуры, выделившиеся кристаллы отфильтруйте, просушите на фильтровальной бумаге и взвесьте. Рассчитайте теоретический выход и определите выход вещества в про-

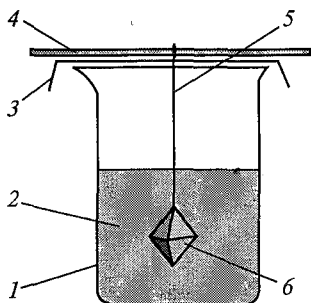


Рис. 104. Выращивание монокристалла алюминокалиевых квасцов:

1 — стакан; 2 — маточный раствор; 3 — крышка из фильтровальной бумаги; 4 — стеклянная палочка; 5 — нить подвеса; 6 — растущий кристалл

центах от теории. Маточный раствор сохраните. Рассмотрите под микроскопом и отметьте форму кристаллов.

Выберите наиболее совершенный кристалл квасцов 6. Привяжите его тонкой полипропиленовой нитью 5 или волосом к стеклянной палочке 4 и опустите в маточный раствор 2 (рис. 104). Закройте стакан 1 крышкой из фильтровальной бумаги 3. В течение нескольких занятий наблюдайте, как растет кристалл 6. При необходимости доливайте маточный раствор. По завершении опыта кристалл извлеките из раствора, осушите фильтровальной бумагой и взвесьте. Зарисуйте форму кристалла. Сохранить кристалл можно только в герметичной емкости, так как он выветривается на воздухе.

Алюминат натрия

Взвесьте 1,0 г оксида алюминия и рассчитанное по уравнению реакции количество карбоната натрия, и после тщательного совместного перетирания в фарфоровой ступке поместите смесь в железный тигель. Тигель с тонкорастертой смесью поставьте в тигельную печь и нагревайте 1 ч при $\sim 600^\circ\text{C}$. По окончании опыта и охлаждения тигля до комнатной температуры извлеките плав и измельчите его в ступке. Внесите немного полученного алюмината натрия в пробирку с 2—3 мл воды и определите рН раствора универсальной индикаторной бумагой. Напишите уравнения реакций.

Как можно из раствора алюмината получить гидроксид алюминия?

Основной сульфат алюминия и натрия $\text{Na}[\text{Al}_{13}\text{O}_4(\text{OH})_{24}(\text{H}_2\text{O})_{12}](\text{SO}_4)_3$ (со структурой Кеггина)

В химическом стакане растворите 1,0 г гексагидрата хлорида алюминия в 100 мл воды. В другом стакане приготовьте 50 мл 0,2 М раствора гидроксида натрия. Нагрейте оба стакана на водяной бане до $\sim 50^\circ\text{C}$ и медленно, при перемешивании, прилейте раствор щелочи к раствору хлорида алюминия. К нагретой на водяной бане смеси медленно добавьте раствор 1,0 г безводного сульфата натрия в 50 мл воды. Горячую жидкость профильтруйте на воронке для горячего фильтрования, фильтрат охладите и оставьте для кристаллизации. Выпавшие кристаллы отфильтруйте на стеклянном пористом фильтре и высушите на воздухе. Полученное вещество перенесите в бюкс, взвесьте и рассчитайте выход в процентах. Рассмотрите в микроскоп форму полученных кристаллов. Напишите уравнения реакций.

Ацетилацетонат алюминия

Соберите прибор для кипячения с обратным холодильником (см. рис. 102). Растворите в 30 мл воды 5,0 г алюмокалиевых квасцов и 4 г мочевины, полученный раствор поместите в колбу емкостью 50 мл. В ту же колбу прилейте 3 мл ацетилацетона. К колбе присоедините обратный холодильник и кипятите раствор 30—40 мин. Выпавшие кристаллы отфильтруйте на стеклянном пористом фильтре, промойте на фильтре водой и высушите на воздухе (вещество в случае необходимости перекристаллизуйте из ацетона или этилового спирта). Определите массу продукта и рассчитайте выход в процентах. Напишите уравнения реакций.

Небольшое количество (~0,2 г) сухого ацетилацетоната алюминия поместите в пробирку и осторожно нагрейте горелкой. Кристаллы сублимата рассмотрите под микроскопом. Что сублимировалось?

ГЛАВА 24

ТИТАН

24.1. Свойства титана

Действие кислот. Налейте в две пробирки по 2—3 мл разбавленных растворов серной и соляной кислот и добавьте немного порошка титана. Что наблюдаете? Нагрейте пробирки с растворами кислот. Что изменилось?

В две пробирки из прозрачной пластмассы налейте по 2—3 мл концентрированной плавиковой кислоты (*наденьте перчатки и защитные очки! Опыт проводить в вытяжном шкафу и в присутствии преподавателя!*), в другую — концентрированную соляную кислоту. Внесите в пробирки немного металлического титана. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Объясните разную окраску получаемых растворов.

Депассивация титана в присутствии фторид-ионов. На порошок титана подействуйте разбавленной уксусной кислотой. Что наблюдаете? Добавьте в пробирку немного фторида аммония. Что изменилось? Напишите уравнения реакций. Объясните наблюдаемые явления.

24.2. Соединения титана(IV)

Титановая кислота

К 10 мл солянокислого раствора тетраоксида титана, охлаждаемого в бане со льдом, прилейте при постоянном перемешивании 10%-ный раствор аммиака до полноты осаждения титановой кислоты. Дайте осадку отстояться, слейте с него раствор и промойте несколько раз водой методом декантации.

Испытайте отношение титановой кислоты к 10%-ным растворам кислот и щелочи. Небольшое количество титановой кислоты взболтайте в пробирке с водой и прокипятите. Слейте воду и снова испытайте отношение титановой кислоты к кислотам и щелочи. Как и почему изменилась реакционная способность титановой кислоты?

Часть титановой кислоты поместите в маленький тигель, высушите в сушильном шкафу, а затем прокалите. Что получается? Как изменяется цвет прекурсора при прокаливании? Восстанавливается ли прежняя окраска после охлаждения?

Напишите уравнения реакций.

Какие гидраты называются α - и β -титановыми кислотами, как они получают и какими обладают свойствами? Как, исходя из оксида титана(IV), получить титанат калия и сульфат титанила? Сопоставьте свойства гидроксидов титана(IV), циркония(IV) и гафния(IV).

Пероксидные соединения титана

К 1—2 мл солянокислого раствора тетрахлорида титана прибавьте несколько капель 3%-ного раствора пероксида водорода. Что наблюдаете? Добавьте избыток щелочи. Что произошло? Напишите уравнение реакции.

Каков состав пероксидных соединений титана в кислой и щелочной средах?

24.3. Соединения титана(III)

Получение раствора сульфата титана(III)

Налейте в пробирку 3 мл подкисленного раствора сульфата титанила, прилейте 1—2 мл 10%-ного раствора серной кислоты и положите 1—2 кусочка цинка. Как меняется окраска раствора? Напишите уравнение реакции.

Используя теорию кристаллического поля, объясните, почему соединения титана(III) окрашены, а титана(IV) бесцветны.

Свойства соединений титана(III)

1. В две пробирки налейте по 1 мл раствора сульфата титана(III), полученного в предыдущем опыте. Одну пробирку оставьте на воздухе. Что наблюдаете? В другую пробирку добавьте несколько капель раствора перманганата калия. Что происходит? Напишите уравнения реакций.

2. Оставшийся раствор сульфата титана(III) слейте с цинка в третью пробирку и быстро прилейте к нему 10%-ный раствор гидроксида натрия. Что наблюдаете?

3. Испытайте отношение гидроксида титана(III) к кислороду воздуха, а также к 10%-ному раствору кислоты и избытку щелочи. Напишите уравнения реакций.

1. Какими свойствами обладают соединения титана(III)?

2. Почему соли титана(III) гидролизуются в меньшей степени, чем соли титана(IV)?

24.4. Синтезы по теме «Титан»

Гексахлоротитанат(IV) аммония

Соберите прибор для получения газообразного хлороводорода (см. рис. 64). К 0,5 мл тетрахлорида титана, полученного по методике подразд. 42.3, осторожно прилейте 5 мл соляной кислоты (1 : 1). Раствор охладите до 0 °С и добавьте к нему 0,4 г хлорида аммония. Не прекращая охлаждения, пропустите через раствор газообразный хлороводород в течение 20 мин. После этого перемешайте реакционную смесь до прекращения выпадения осадка. Осадок быстро отфильтруйте на стеклянном пористом фильтре. Кристаллы высушите фильтровальной бумагой, поместите в стеклянный бюкс и взвесьте. Рассчитайте выход в процентах. Напишите уравнения реакций.

Сульфат титана(IV)

В фарфоровом тигле растворите 0,5 г тонкоизмельченного диоксида титана в пятикратном количестве расплавленного пиросульфата калия (в вытяжном

шкафу!). Плавление ведите осторожно, не допуская сильного улетучивания выделяющегося серного ангидрида. Одну часть полученного плава растворите в разбавленной серной кислоте, другую — обработайте водой при нагревании. Напишите уравнения реакций.

Объясните растворение плава в первом случае и образование осадка во втором.

Титанат(IV) калия

Фарфоровый тигель с 3—4 г тонкоизмельченной в фарфоровой ступке стехиометрической смесью диоксида титана и карбоната калия нагревайте в тигельной печи при 700—800 °С до получения прозрачного расплава. Еще горячий тигель осторожно опустите в стакан с холодной водой. Если плав не отделяется от стенок тигля, разбейте тигель. Охлажденный плав измельчите и испытайте его отношение к воде. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Что гидролизуется сильнее: сульфат титана(IV) или титанат(IV) калия?

ГЛАВА 25

ВАНАДИЙ

25.1. Свойства ванадия

Испытайте действие на ванадий разбавленных и концентрированных кислот: соляной, серной и азотной (на холоду и при нагревании). Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

25.2. Соединения ванадия(V)

Получение и свойства оксида ванадия(V)

1. Поместите в открытый фарфоровый тигель 0,5 г ванадата аммония. Тигель с содержимым прокалите в пламени горелки до постоянной массы. Что наблюдаете? Повторите опыт в закрытом тигле. Что изменилось? Напишите уравнения реакций.

Почему для получения оксида ванадия(V) прокаливание ведется в среде кислорода?

2. Поместите в шесть пробирок небольшое количество оксида ванадия(V). Испытайте действие на него воды, 10%-ных растворов соляной, серной и азотной кислот, а также концентрированной соляной кислоты и щелочи на холоду и при нагревании. Что происходит в каждом опыте? Напишите уравнения реакций.

Поливанадаты и ванадиевая кислота

К 3—4 мл раствора ванадата натрия в пробирке прибавляйте по каплям при перемешивании 10%-ный раствор серной кислоты. Что наблюдается при постепенном понижении рН раствора? Как изменяется окраска раствора? Напишите уравнения соответствующих реакций.

1. Чем обусловлено изменение окраски раствора? Каким последовательным химическим превращениям соответствует изменение цвета раствора и при каких значениях pH? Ознакомьтесь с диаграммой зависимости состава поливанадатов от pH среды и концентрации раствора.

2. Какова растворимость оксида ванадия(V) в воде? Какие ионы находятся в водном растворе оксида ванадия(V) и какие выделены кристаллогидраты этого оксида?

Соли ванадиевой кислоты

Налейте в две пробирки по 1—2 мл раствора ванадата натрия и прибавьте в одну из них несколько капель раствора нитрата серебра, в другую — раствор хлорида аммония. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций. Учтите, что для получения осадков исходный раствор ванадата натрия должен быть достаточно концентрированным, а хлорида аммония — насыщенным. Определите pH раствора до смешения реактивов и после выпадения осадков.

Пероксидные соединения ванадия

К 2—3 мл раствора ванадата натрия, подкисленного разбавленным раствором серной кислоты, прибавьте несколько капель 3%-ного раствора пероксида водорода. Что при этом наблюдается? Напишите уравнение реакции.

25.3. Соединения ванадия низших степеней окисления

1. В большую пробирку (или колбу емкостью 50 мл) налейте 10 мл раствора ванадата натрия, подкислите равным объемом 20%-ного раствора серной кислоты и внесите 10—15 гранул цинка. Для ускорения реакции вместо гранулированного цинка можно использовать цинковую пыль. Что наблюдаете? Отметьте последовательность изменения окраски раствора.

2. После восстановления раствора ванадия(V) до ванадия(IV) налейте в шесть пробирок по 1—2 мл полученного раствора и сразу добавьте в них растворы соли железа(II), иодида калия и сульфата натрия. Что происходит? Три оставшиеся пробирки закройте пробками и используйте в последующих опытах.

3. По мере появления новой окраски, соответствующей растворам ванадия(III) и (II), отливайте каждый раз по 1—2 мл раствора каждого цвета в три разные пробирки. Пробирки закрывайте пробками. Растворы не сохраняются, поэтому их нужно сразу использовать для опытов.

4. К одной серии растворов, содержащих соединения ванадия разных степеней окисления, быстро прилейте 1—2 мл 10%-ного раствора гидроксида натрия. Что наблюдаете? Исследуйте отношение полученных гидроксидов к кислотам и к избытку щелочи. Что происходит при стоянии гидроксидов на воздухе?

5. К другой серии растворов прилейте по каплям раствор перманганата калия. Что наблюдаете?

6. Добавьте по каплям растворы солей ванадия(II) и ванадия(III) к раствору ванадата натрия. Что происходит?

7. Добавьте по каплям раствор соли ванадия(II) к раствору сульфата ванадила. Что наблюдаете?

8. Оставшийся в колбе раствор перелейте в стакан и оставьте открытым на воздухе. В какой последовательности изменяется окраска раствора.

Напишите уравнения реакций.

Какие соединения ванадия получаются при действии цинка в кислой среде на раствор ванадата натрия? Как изменяются окислительно-восстановительные (в кислой и щелочной средах) и кислотнo-основные свойства соединений ванадия при изменении степени окисления ванадия?

25.4. Синтезы по теме «Ванадий»

Алюминотермическое получение ванадия

(Опыт проводите в вытяжном шкафу под наблюдением преподавателя! Наденьте очки или маску!)

Методика алюминотермического восстановления оксидов приведена в разделе «Алюминий», подразд. 23.4, см. рис. 103. Просушите в сушильном шкафу при 120—130 °С 10 г оксида ванадия(V) и смешайте с 6,5 г алюминия. Смесь поместите в шамотовый тигель. В качестве зажигательной смеси используйте 2—3 г смеси порошка магнезия и пероксида бария, взятых в массовом соотношении 1 : 9 (*зажигательную смесь ни в коем случае нельзя растирать в ступке!*).

После вспышки дайте расплавленной массе остыть и отделите «королек» металла от шлака. Полученный металл взвесьте и рассчитайте выход в процентах. Испытайте отношение ванадия к кислотам и щелочи.

Ванадат калия

Поместите в фарфоровый тигель тщательно растертую в фарфоровой ступке смесь 1,0 г оксида ванадия(V) со стехиометрическим (1 : 1) количеством карбоната калия и поставьте в тигельную печь. Нагрейте печь до ~500 °С (не выше!) со скоростью не более 10 °С/мин и выдержите 1 ч при этой температуре. После охлаждения печи до 350 °С извлеките тигель из печи и остудите в стакане с водой, чтобы плав легче отстал от стенок тигля.

Измельчите плав в ступке и растворите при нагревании в минимальном количестве воды. Раствор профильтруйте, если необходимо, и упарьте в фарфоровой чашке на водяной бане до начала кристаллизации. Рассмотрите кристаллы полученного соединения под микроскопом. Отфильтруйте их на стеклянном пористом фильтре, взвесьте и рассчитайте выход в процентах по отношению к исходному оксиду ванадия(V). Напишите уравнение реакции.

ГЛАВА 26

ХРОМ, МОЛИБДЕН, ВОЛЬФРАМ

26.1. Свойства хрома

Измельчите в чугунной ступке на мелкие кусочки «королек» хрома, полученный методом алюминотермии. Отметьте цвет металла на свежем изломе, испытайте его твердость, для чего проведите кусочком хрома по стеклянной

пластинке. Царапает ли хром стекло? Поднесите к хрому магнит. Притягивает ли хром к магниту?

Несколько кусочков хрома положите в пробирки и испытайте отношение его к воде, щелочи, а также к разбавленным и концентрированным растворам кислот: соляной, серной и азотной (на холоду и при нагревании). Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Где находится хром в ряду напряжений металлов?

26.2. Соединения хрома(II)

Получение хлорида хрома(II)

1. Поместите в пробирку (рис. 105) несколько кусочков металлического хрома, прилейте 2—3 мл 20%-ного раствора соляной кислоты и закройте пробкой с газоотводной трубкой с клапаном Бунзена — отрезком резиновой трубки с продольной прорезью, закрытым короткой стеклянной палочкой (рис. 105, а) или пробкой с газоотводной трубкой, опущенной в воду (рис. 105, б). Что наблюдаете? Напишите уравнение реакции.

2. Заполните пробирку на $\sim 1/5$ гранулированным цинком, налейте 2—3 мл раствора хлорида хрома(III) и добавьте 2—3 мл 20%-ного раствора соляной кислоты. Пробирку тотчас закройте пробкой с газоотводной трубкой с клапаном Бунзена или с трубкой, опущенной в воду (см. рис. 105). Как изменяется цвет раствора во время опыта? Напишите уравнение реакции.

Полученный раствор хлорида хрома(II) сразу используйте в последующих опытах. Пробирку с раствором не оставляйте открытой!

До какой степени может окислиться хром соляной кислотой согласно диаграмме Латимера? Почему при растворения хрома в соляной кислоте на открытом воздухе образуется хлорид хрома(III)? Почему все опыты с хлоридом хрома(II) следует проводить быстро?

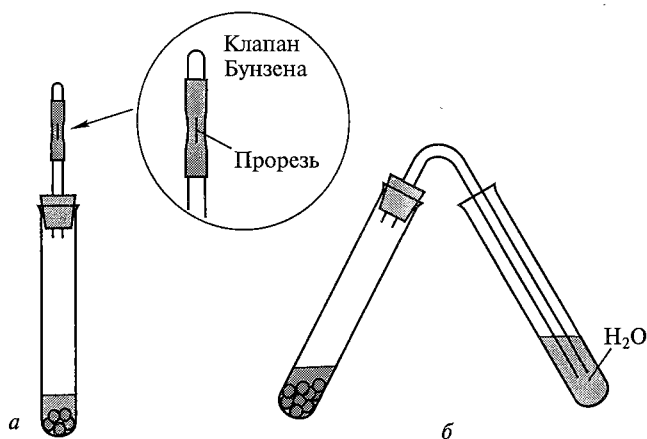


Рис. 105. Получение хлорида хрома(II):

а — пробирка с клапаном Бунзена; б — пробирка с опущенной в воду газоотводной трубкой

Свойства хлорида хрома(II)

1. Поместите в пробирку немного кристаллического ацетата натрия и прилейте к нему раствор хлорида хрома(II). Что наблюдаете? Напишите уравнение реакции.

2. В пробирку с 2—3 мл 10%-ного раствора гидроксида натрия прилейте несколько капель хлорида хрома(II). Что наблюдаете? Какими свойствами обладает гидроксид хрома(II)?

3. Налейте в пробирку несколько миллилитров полученного хлорида хрома(II) и оставьте на воздухе. Как изменяется цвет раствора? Какие свойства при этом проявляет хлорид хрома(II)? Напишите уравнение реакции.

26.3. Соединения хрома(III)

Получение и свойства оксида хрома(III)

1. Смешайте 2,5 г тонкоизмельченного дихромата калия с 0,5 г серы, смесь поместите в фарфоровый тигель с крышкой и сильно нагрейте пламенем горелки (*в вытяжном шкафу!*). Что наблюдаете? После завершения реакции уберите горелку. Остывшую спекшуюся массу разотрите в ступке с водой, оксид хрома(III) отфильтруйте, промойте и высушите в сушильном шкафу. Напишите уравнение реакции.

2. В фарфоровый тигель поместите горкой 1—5 г измельченного дихромата аммония, тигель поставьте на лист бумаги. В пламени горелки сильно нагрейте стеклянную палочку и коснитесь ею вершины горки дихромата аммония. Что наблюдаете? Соберите образовавшийся оксид хрома(III). Напишите уравнение реакции.

Как относится оксид хрома(III) к воде, растворам кислот и щелочей? С какими реагентами следует сплавить оксид хрома(III), чтобы получить хромат натрия или сульфат хрома(III)?

Получение и свойства гидроксида хрома(III)

Осадите гидроксид хрома(III) из водного раствора соли хрома(III) и испытайте его отношение к разбавленным и концентрированным растворам кислот и щелочей. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Какие реагенты следует использовать для осаждения гидроксида хрома? К какому типу гидроксидов относится гидроксид хрома(III)?

Свойства солей хрома(III)

1. Несколько кристаллов хромокалиевых квасцов растворите в холодной воде и отметьте цвет раствора. Нагрейте раствор до кипения. Что наблюдаете? Как изменяется окраска раствора? Напишите уравнения реакций.

Каков цвет разбавленного раствора соли хрома(III)? Какой состав могут иметь ионы хрома(III) в водном растворе в зависимости от условий? Как связана окраска аквакомплексного иона хрома(III) с его составом? Рассмотрите строение аквакомплексных ионов хрома(III) с учетом валентных связей.

2. Определите величину рН раствора хромокалиевых квасцов. Напишите уравнение протолитического равновесия.

3. Приготовьте раствор хромита натрия, используя минимальное количество раствора гидроксида натрия, и прокипятите его. Что происходит? Напишите уравнение реакции.

Какая из солей гидролизуетесь сильнее в растворах равной молярной концентрации: хлорид хрома или хромит натрия?

4. К раствору сульфата хрома(III) прилейте раствор сульфида аммония. Что наблюдаете? Каков состав выпавшего осадка? Напишите уравнение реакции.

Как можно получить сульфид хрома(III)?

5. К раствору сульфата хрома(III) прилейте избыток раствора щелочи и бромной воды. Смесь подогрейте. Что происходит? Напишите уравнение реакции.

26.4. Соединения хрома(VI)

Свойства солей хромовых кислот

1. Небольшое количество дихромата калия растворите в воде и добавьте по каплям разбавленный гидроксид калия (натрия). Что наблюдаете? Добавьте по каплям разбавленную серную кислоту. Что происходит? Напишите уравнение реакции.

Чем объяснить изменение окраски раствора? Как изменяется состав солей хромовых кислот в зависимости от pH среды?

2. К раствору хромата или дихромата калия прилейте раствор сульфида аммония и подогрейте смесь. Как изменяется окраска раствора? Каков состав выпавшего осадка? Напишите уравнение реакции.

Какие свойства хрома(VI) проявляются в этой реакции? Как реагирует подкисленный раствор хромата или дихромата калия с сероводородом, сернистым газом, солью железа(II)? Напишите уравнения реакций.

3. К растворам хромата и дихромата калия в пробирках прилейте раствор соли бария. Каков состав выпавших осадков? Испытайте отношение полученных солей к разбавленным растворам кислот.

Повторите эксперимент, заменив раствор соли бария на раствор соли свинца. Напишите уравнения реакций.

Получение и свойства оксида хрома(VI)

Получение оксида хрома(VI). Поместите в фарфоровую чашку 1 г дихромата калия, растворите в 10 мл воды (*наденьте защитные очки!*) и прилейте при перемешивании стеклянной палочкой 6 мл концентрированной серной кислоты. Что наблюдаете?

Охладите раствор и отфильтруйте выпавшие кристаллы на воронке со стеклянным фильтрующим дном. Отметьте цвет кристаллов. Напишите уравнение реакции.

Свойства оксида хрома(VI).

(Опыты проводите в вытяжном шкафу под наблюдением преподавателя!)

1. Несколько кристаллов оксида хрома(VI) поместите в фарфоровую чашку и из пипетки прилейте две — три капли спирта. Что происходит? Напишите уравнение реакции.

2. Часть кристаллов оксида хрома(VI) растворите в воде. Налейте в пробирку 2—3 мл полученного раствора и добавьте к нему раствор иодида калия. Что наблюдаете? Напишите уравнение реакции.

Пероксидные соединения хрома

К 2—3 мл 3%-ного раствора пероксида водорода в пробирке добавьте немного разбавленного раствора серной кислоты, 1—2 мл этилового эфира и несколько капель раствора хромата или дихромата калия. Осторожно перемешайте смесь. Что наблюдаете? Каков состав соединений в водном и эфирном слоях? Напишите уравнения реакций.

26.5. Молибден, вольфрам

Свойства молибдена и вольфрама

Получите молибден и вольфрам восстановлением водородом их оксидов (см. подразд. 44.1). Испытайте отношение металлов к 10%-ным и концентрированным растворам кислот и щелочей на холоду и при нагревании. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Молибденовый и вольфрамовый ангидриды

Несколько кристаллов молибдата аммония поместите в фарфоровый тигель и сначала осторожно нагрейте, а затем сильно прокалите. Что наблюдаете? Проведите аналогичный опыт с вольфрамом аммония или вольфрамовой кислотой. Рассмотрите полученные вещества под микроскопом и сравните с формой исходных кристаллов. Напишите уравнения реакций.

При какой температуре возгоняются молибденовый и вольфрамовый ангидриды? Сопоставьте свойства оксидов состава ЭO_3 подгруппы хрома (цвет, термическая устойчивость, окислительная способность, отношение к воде).

Молибденовые и вольфрамовые кислоты

1. К 2—3 мл 20%-ного раствора молибдата натрия в пробирке прилейте 2—3 мл 10%-ного раствора азотной кислоты. Что происходит? Каков цвет осадка? Полученный осадок промойте водой методом декантации и разделите на две части. Подействуйте на одну часть осадка избытком концентрированной соляной кислоты, на другую — 20%-ным раствором гидроксида натрия. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Объясните полученные результаты. В каких условиях образуется дигидрат оксида молибдена(VI)?

2. Растворите 0,5 г вольфрамата натрия в минимальном объеме воды и прилейте к нему равный объем 10%-ного раствора соляной кислоты. Что происходит? Выделившееся вещество промойте методом декантации водой, слегка подкисленной соляной кислотой. Испытайте отношение вольфрамовых кислот к 10%-ным растворам щелочей и кислот. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

1. Каковы цвет и состав гидратов оксида вольфрама(VI)?
2. Какие известны типы солей молибденовой и вольфрамовой кислот? Приведите примеры изо- и гетерополисоединений молибдена и вольфрама. Каков состав и строение пара- и метамолибдатов и пара- и метавольфраматов? Молибдаты и вольфраматы каких металлов плохо растворимы в воде?

Тиосоли и сульфиды молибдена и вольфрама

Налейте в одну пробирку 1—2 мл раствора молибдата аммония, а в другую 1—2 мл вольфрамата натрия. Прилейте в оба раствора по 1—2 мл 25%-ного раствора аммиака и добавьте раствор сульфида натрия. Что происходит? Подкислите полученные растворы 10%-ным раствором соляной кислоты и слегка подогрейте. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Восстановление соединений молибдена(VI) и вольфрама(VI)

Налейте в четыре пробирки по 3 мл раствора молибдата аммония, подкислите 10%-ным раствором соляной кислоты, нагрейте до кипения и прилейте в три из них, соответственно, растворы сульфита натрия, хлорида олова(II) и сульфида натрия, а в последнюю пробирку поместите 1—2 кусочка цинка. Что наблюдаете? Повторите опыты, используя в качестве исходного реагента вольфрамат натрия. Что изменилось? Напишите уравнения реакций.

Пероксидные соединения молибдена и вольфрама

К подкисленным растворам молибдата аммония и вольфрамата натрия в отдельных пробирках прилейте по несколько капель 3%-ного раствора пероксида водорода. Что происходит? Отметьте цвет раствора. Напишите уравнения реакций.

26.6. Синтезы по теме «Хром, молибден, вольфрам»

Получение хрома методом алюминотермии

(Опыт проводите в вытяжном шкафу под наблюдением преподавателя! Наденьте защитные очки или маску!)

Методика алюминотермического восстановления оксидов приведена в подразд. 23.4, рис. 103. Прокалите в железном тигле на газовой горелке оксид хрома(III). Расплавьте дихромат калия в фарфоровом тигле на пламени газовой горелки и вылейте на кафельную пластинку, после охлаждения разотрите плава в порошок. Взвесьте 6,0 г прокаленного оксида хрома(III), 6,0 г растертого плава дихромата калия и 5,0 г порошка алюминия, все вещества тщательно перемешайте в ступке. В качестве зажигательной смеси используйте 2—3 г смеси порошка алюминия и пероксида бария, взятых в массовом соотношении 1 : 3 (*зажигательную смесь ни в коем случае нельзя растирать в ступке!*).

По окончании реакции дайте тиглю остыть, извлеките «королек» хрома, взвесьте его и рассчитайте выход в процентах. Исследуйте свойства хрома (см. подразд. 26.1).

Хлорид гексааквахрома(III)

Предлагается синтезировать хлорид гексааквахрома(III), используя разные исходные вещества. Для этого вначале соберите в вытяжном шкафу прибор для получения газообразного хлороводорода (рис. 106).

1. Приготовьте раствор 5,0 г тригидрата нитрата гексааквахрома(III) в 5,0 мл концентрированной соляной кислоты. Раствор охладите в бане со льдом и пропустите газообразный хлороводород до прекращения выделения кристаллов.

Кашицеобразную массу быстро отфильтруйте на стеклянном пористом фильтре. Осадок на фильтре промойте вначале небольшим количеством концентрированной соляной кислоты, а затем ацетоном (*огнеопасно; вдали от огня!*) до тех пор, пока фильтрат не станет бесцветным. Полученные кристаллы после испарения ацетона перенесите в бюкс, взвесьте и рассчитайте выход в процентах. Напишите уравнение реакции.

2. Соберите прибор для кипячения с обратным холодильником (см. рис. 102). Поместите в колбу 5,0 г дигидрата хлорида тетрааквадихлорохрома(III), прилейте 5,0 мл воды и закройте шариковым холодильником. Нагрейте раствор в колбе на пламени газовой горелки через асбестовую сетку до кипения и кипятите 0,5 ч, затем охладите и перелейте в химический стакан. Что наблюдаете?

Стакан с полученным после кипячения раствором хлорида хрома поместите в охлаждающую смесь из льда и хлорида натрия. После того как температура раствора опустится ниже 0°C , пропустите сильный ток хлороводорода (см. рис. 106), следя, чтобы температура не поднималась. Насыщение проводите до прекращения поглощения раствором хлороводорода.

Выпавший осадок отфильтруйте на стеклянном пористом фильтре, смойте оставшиеся в колбе кристаллы на фильтр небольшим количеством охлажден-

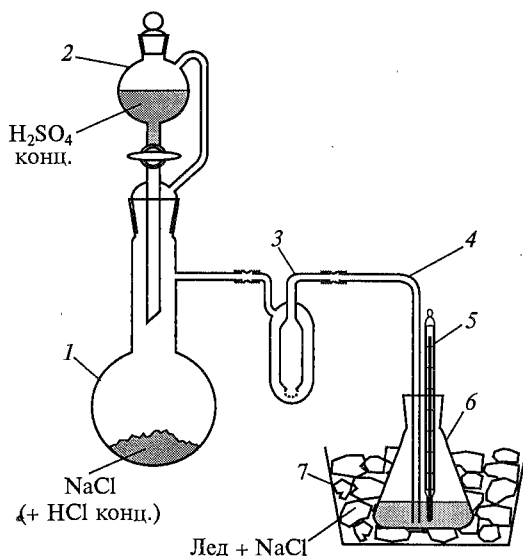


Рис. 106. Прибор для получения хлорида гексааквахрома(III):

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — предохранительная промывалка; 4 — газоподводящая трубка; 5 — термометр; 6 — коническая колба; 7 — баня с охлаждающей смесью

ной концентрированной соляной кислоты. Осадок на фильтре промывайте ацетоном, пока фильтрат не обесцветится. Кристаллы хлорида гексааквахрома(III) после испарения ацетона перенесите в бюкс, взвесьте и рассчитайте выход в процентах. Отметьте цвет кристаллов. Напишите уравнение реакции.

3. Растворите 2,5 г хромокалиевых квасцов в 10 мл охлажденной концентрированной соляной кислоты и 2,5 мл воды. Раствор профильтруйте, охладите до 10—15 °С и пропустите через него ток газообразного хлороводорода до насыщения (см. рис. 106). Выпавший осадок отфильтруйте на стеклянном пористом фильтре, промойте вначале небольшим количеством охлажденной концентрированной соляной кислоты, а затем ацетоном до получения бесцветного фильтрата. Кристаллы перенесите в заранее взвешенный бюкс, взвесьте и рассчитайте выход в процентах. Напишите уравнение реакции.

Моногидрат хлорида пентааквахлорохрома(III)

Получение тригидрата сульфата пентааквахлорохрома(III). Растворите 3,0 г дигидрата тетрааквахлорохрома(III) в 3,0 мл воды и оставьте при комнатной температуре на сутки, затем добавьте смесь 1 г концентрированной серной кислоты с 0,4 мл воды. Что наблюдаете? Выпавшие кристаллы отделите от маточного раствора на стеклянном пористом фильтре. Напишите уравнение реакции.

Получение моногидрата хлорида пентааквахлорохрома(III). Соберите в вытяжном шкафу прибор для получения газообразного хлороводорода (см. рис. 106), приготовьте концентрированный раствор сульфата пентааквахлорохрома(III) и охладите до 0 °С. Налейте 20 мл диэтилового эфира (*огнеопасно! Погасите все горелки! Огонь не зажигать!*) в коническую колбу и охладите в бане со льдом до 0 °С.

Пропустите через эфир ток хлороводорода и постепенно прилейте к эфиру весь приготовленный раствор сульфата пентааквахлорохрома и продолжайте пропускать хлороводород до прекращения выделения кристаллов. Кристаллы отфильтруйте на стеклянном пористом фильтре, быстро высушите на воздухе, перенесите в бюкс и взвесьте. Рассчитайте выход в процентах. Напишите уравнение реакции.

Хромокалиевые квасцы

В химический стакан налейте 25 мл воды и растворите в ней 2,5 г дихромата калия, затем добавьте концентрированной серной кислоты (в полуторном избытке от теоретического). Стакан с раствором охладите до комнатной температуры, а затем поставьте в воду со льдом. Закрепите над стаканом капельную воронку с рассчитанным количеством этилового спирта (требуемое количество спирта определите из уравнения реакции и возьмите с двукратным избытком) и прибавьте при непрерывном перемешивании по каплям к раствору. Следите, чтобы температура не достигала 40 °С.

Стакан с раствором прикройте фильтровальной бумагой и оставьте до следующего занятия. Напишите уравнение реакции.

Выпавшие кристаллы отфильтруйте, высушите на воздухе и взвесьте. Рассчитайте выход в процентах. Рассмотрите форму кристаллов хромокалиевых квасцов под микроскопом и сравните с кристаллами алюмокалиевых квасцов.

Почему температура раствора при получении хромокалиевых квасцов не должна превышать 40 °С?

Выращивание монокристаллов хромокалиевых квасцов

Получите хромокалиевые квасцы по методике, приведенной выше, взяв удвоенные количества исходных реагентов. Выберите наиболее совершенный кристалл квасцов, привяжите его тонкой полипропиленовой нитью или волоком к стеклянной палочке и опустите в маточный раствор (см. рис. 104). Прикройте стакан кружком фильтровальной бумаги. В течение нескольких занятий наблюдайте, как растет кристалл. При необходимости доливайте маточный раствор.

Приготовьте в стакане емкостью 50 мл насыщенный при комнатной температуре раствор алюмокалиевых квасцов и подвесьте в нем выросший кристалл хромокалиевых квасцов (см. рис. 104). Прикройте стакан кружком фильтровальной бумаги и оставьте до следующего занятия. Что наблюдаете? По завершении опыта кристалл извлеките из раствора, осушите фильтровальной бумагой и взвесьте. Зарисуйте форму кристалла. Сохранить кристалл можно только в герметичной емкости, так как он выветривается на воздухе.

Что произойдет, если кристаллы алюмокалиевых квасцов опустить в насыщенный раствор хромокалиевых квасцов? Что называется изоморфизмом?

Тригидрат триоксалатохромата(III) калия

Растворите в 100 мл воды 3,0 г оксалата калия и 7,0 г щавелевой кислоты. К раствору добавьте при интенсивном перемешивании 2,5 г тонкоизмельченного дихромата калия. По окончании реакции упарьте раствор на водяной бане, оставив небольшое количество маточного раствора и оставьте кристаллизоваться. Для инициирования кристаллизации потрите стеклянной палочкой фарфоровую чашку под слоем раствора. Выпавшие кристаллы отфильтруйте на стеклянном пористом фильтре, высушите на воздухе и взвесьте. Рассчитайте выход в процентах. Рассмотрите кристаллы в отраженном и проходящем свете. Напишите уравнение реакции.

Гексароданохромат(III) калия

Растворите в 20 мл воды 2,0 г роданида калия и 1,7 г хромокалиевых квасцов. Полученный раствор перелейте в круглодонную колбу, присоедините к ней обратный холодильник и поставьте на кипящую водяную баню. Для установления равновесия в растворе нагревайте его ~2 ч. Что наблюдаете? Как и почему изменяется цвет раствора? Охладите раствор до комнатной температуры, перелейте в фарфоровую чашку и упарьте на водяной бане до полного удаления воды. Что образовалось в чашке?

Растворите полученный продукт в минимальном объеме этилового спирта (~20 мл), отделите спиртовой раствор от осадка на стеклянном пористом фильтре. Отметьте цвет раствора и осадка. Что может находиться в осадке? Оставьте раствор стоять на воздухе для испарения спирта и кристаллизации комплексной соли. Взвесьте полученные кристаллы и рассчитайте выход в процентах.

Рассчитайте выход в процентах относительно взятого количества хромокалиевых квасцов. Напишите уравнения реакций.

Рассмотрите кристаллы под микроскопом, зарисуйте их форму. Небольшое количество полученных кристаллов растворите в воде и с использованием качественных реакций проверьте присутствие в растворе иона хрома(III) и роданид-иона.

Хромат калия

В вытяжном шкафу сплавьте в железном тигле (*наденьте защитные очки!*) 1,0 г карбоната калия, 1,0 г гидроксида калия и 2,0 г хлората калия при нагревании в пламени горелки. Хлорат калия можно и не добавлять, в этом случае хром(III) будет окисляться кислородом воздуха. Перемешивая расплав железной палочкой, внесите в тигель 0,8 г оксида хрома(III). Прокалите полученную смесь на паяльной горелке 5—10 мин.

Охлажденный плав обработайте водой. Раствор профильтруйте и упарьте в фарфоровой чашке до появления пленки кристаллов. Чашку с раствором охладите в бане со льдом, выпавшие кристаллы отделите на стеклянном пористом фильтре, высушите при 60 °С и взвесьте. Рассчитайте выход в процентах. Напишите уравнение реакции. Рассмотрите форму кристаллов под микроскопом.

Каков состав выделяющихся кристаллов? Зачем в реакцию был введен гидроксид калия?

Триоксохлорохромат(VI) калия

Внесите 2,0 г мелко растертого дихромата калия в 4 мл горячего 24%-ного раствора соляной кислоты. Смесь слегка подогрейте. Что наблюдаете? Что может произойти при длительном нагревании смеси? Напишите уравнения реакций.

При необходимости полученный раствор профильтруйте на воронке для горячего фильтрования и оставьте до следующего занятия. Выпавшие кристаллы отфильтруйте на стеклянном пористом фильтре. Высушите на воздухе и взвесьте. Рассчитайте выход в процентах.

Полученные кристаллы рассмотрите под микроскопом. Обратите внимание на форму кристаллов и сравните их с кристаллами дихромата калия. Небольшую часть кристаллов растворите в воде и установите, какие ионы присутствуют в растворе.

К какому классу соединений относится триоксохлорохромат(VI) калия? Какими свойствами он обладает?

Оксид молибдена(VI)

Получение оксида молибдена(VI) термическим разложением гептамолибдата аммония. Поместите в тигельную печь фарфоровый тигель с 0,5 г гептамолибдата аммония. Опустите в печь кварцевую или фарфоровую трубку, подсоединенную резиновой трубкой к воздушной магистрали и прокалите молибдат аммония в слабом токе воздуха 30 мин при 350—400 °С, затем около 1 ч при 750 °С.

После охлаждения печи извлеките тигель с полученным веществом и взвесьте. Каков его внешний вид? Рассчитайте выход в процентах. Испытайте действие

воды, а также 10%-ных растворов соляной кислоты и гидроксида натрия на возогнанный оксид. Напишите уравнения реакций.

Почему прокаливание молибдата аммония следует проводить в токе воздуха и при двух температурах?

Оксопентахлоромолибдат(V) аммония

Соберите в вытяжном шкафу прибор для получения хлороводорода (см. рис. 64, подразд. 11.6). Смесь 2,0 г гептамолибдата(VI) аммония и 15 мл концентрированной соляной кислоты нагрейте в химическом стакане при постоянном перемешивании до кипения и прибавьте рассчитанное по уравнению реакции количество иодида аммония. Раствор осторожно прокипятите, пока весь иод не улетучится и охладите в смеси льда с хлоридом натрия. Через охлажденный раствор пропустите ток газообразного хлороводорода до насыщения. Выпавшие светло-зеленые кристаллы отфильтруйте на стеклянном пористом фильтре, высушите в эксикаторе над твердым гидроксидом калия и взвесьте. Рассчитайте выход в процентах. Напишите уравнения реакций.

Тетрагидрат гептамолибдата(VI) аммония (парамолибдат аммония)

В химический стакан налейте 20 мл концентрированного раствора аммиака. Внесите в него при нагревании и перемешивании небольшими порциями свежесажденную (см. подразд. 26.5) молибденовую кислоту до тех пор, пока не прекратится ее растворение. Раствор профильтруйте и упарьте на водяной бане до начала кристаллизация отобранной пробы.

Охладите раствор, выпавшие кристаллы отфильтруйте на воронке со стеклянным пористым фильтром, высушите на воздухе и взвесьте. Рассчитайте выход в процентах. Напишите уравнение реакции. Рассмотрите кристаллы под микроскопом и отметьте их форму.

Маточный раствор разлейте в ряд пробирок и прилейте в каждую из них, соответственно, растворы солей кальция, алюминия и железа. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Дигидрододекавольфрамат(VI) деканатрия (паравольфрамат натрия)

1. В химический стакан налейте 20 мл 50%-ного раствора гидроксида натрия, стакан поставьте на магнитную мешалку и небольшими порциями при энергичном перемешивании внесите в виде влажной суспензии рассчитанное количество свежесажденной вольфрамовой кислоты. В конце реакции значение pH раствора должен быть 6—6,5. Профильтруйте раствор, фильтрат немного упарьте в фарфоровой чашке на водяной бане и оставьте стоять на сутки. Выпавшие кристаллы отделите фильтрованием на стеклянном пористом фильтре, высушите на воздухе и взвесьте. Напишите уравнения реакций.

2. Раствор дигидрата вольфрамата натрия, содержащий 4,2 г соли в 5 мл воды, нагрейте до 80 °С и добавляйте к нему небольшими порциями 20%-ную соляную кислоту до тех пор, пока значение pH раствора не станет равным 6—6,5 (1,2 моль кислоты на 1 моль вольфрамата натрия). Полученный раствор нагрейте в течение 1 ч на водяной бане. После фильтрования оставьте

раствор на сутки. Выпавшие кристаллы отделите фильтрованием на стеклянном пористом фильтре и высушите на воздухе и взвесьте. Рассмотрите форму кристаллов паравольфрамата натрия под микроскопом. Напишите уравнения реакций.

Ацетат молибдена(II)

Растворите в 3—4 мл 10%-ной соляной кислоты 0,5 г наонахлородимолибдатов(VI) аммония, предварительно синтезированного по методике, приведенной в подразд. 44.5. Раствор охладите до 0 °С и добавьте 3—4 гранулы цинка. Как меняется окраска раствора в процессе восстановления? Приготовьте 5 мл насыщенного при 0 °С раствор ацетата натрия и прилейте к нему восстановленный раствор. Что наблюдаете? Отделите выпавший желтый осадок ацетата молибдена(II) на стеклянном пористом фильтре, промойте вначале спиртом, затем эфиром, высушите на воздухе, запаяйте в стеклянную ампулу и взвесьте. Укажите методику получения ацетата хрома(II), подразд. 43.1). Рассчитайте выход в процентах. Напишите уравнения реакций.

Пентахлорид молибдена и гексахлорид вольфрама

Соберите в вытяжном шкафу прибор (рис. 107). Промывалки 6, 7 и 11 заполните концентрированной серной кислотой. Взвесьте 0,5 г восстановленного молибдена (вольфрама) и поместите в фарфоровой лодочке 9 в начало реакционной трубки 8. Заполните прибор сухим хлороводородом из колбы Вюрца 3 и нагрейте металл в трубке пламенем горелки. Образующиеся оксохлориды отго-

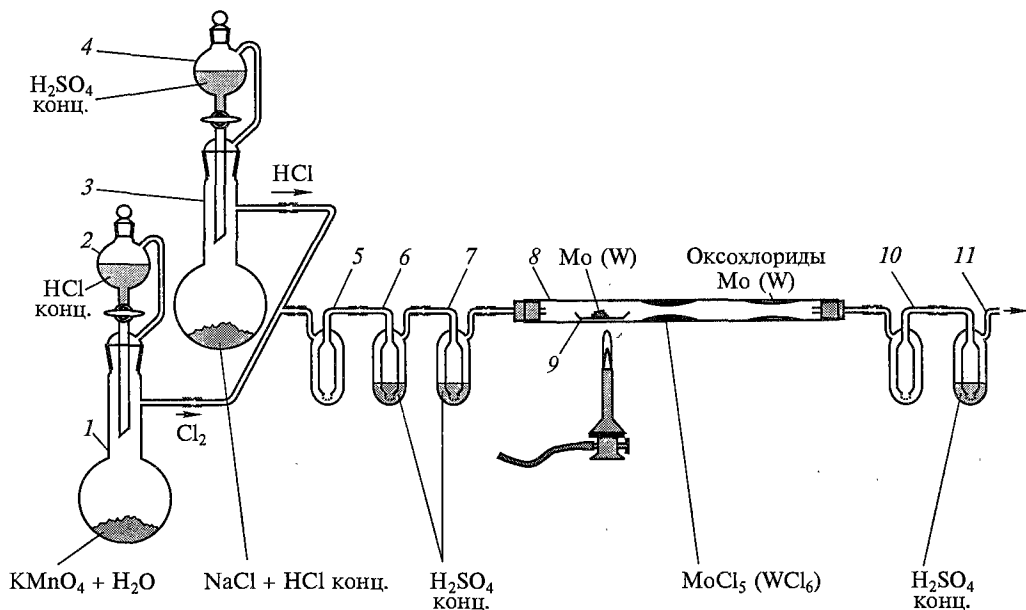


Рис. 107. Прибор для получения хлоридов молибдена и вольфрама:

1, 3 — колбы Вюрца; 2, 4 — капельные воронки; 5, 10 — предохранительные промывалки; 6, 7, 11 — промывалки с серной кислотой; 8 — кварцевая реакционная трубка; 9 — лодочка

ните в конец реакционной трубки. Следите, чтобы не забивалась трубка, выходящая из реактора!

Отключите ток хлороводорода и заполните прибор хлором из колбы Вюрца 1 с капельной воронкой 2. Проведите хлорирование молибдена (вольфрама) при нагревании металла в трубке пламенем горелки. Следите, чтобы хлориды конденсировались в средней части трубки и не смешивались с оксохлоридами. Если вместе с хлоридом молибдена(V) или вольфрама(VI) образуются оксохлориды, их следует разогнать в токе хлора при слабом нагревании. Полученное вещество быстро перенесите во взвешенную пробирку с пробкой, взвесьте и рассчитайте выход в процентах. Напишите уравнения реакций. Отметьте цвет образующихся веществ.

Испытайте отношение пентахлорида молибдена (гексахлорида вольфрама) к воде. Что при этом наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

К какому классу соединений следует отнести хлориды молибдена и вольфрама?

ГЛАВА 27

МАРГАНЕЦ

27.1. Свойства металлического марганца

Раздробите в чугунной ступке королек марганца, полученный методом алюминотермии (см. подразд. 27.8) Небольшие кусочки металла поместите в пробирки с водой, раствором гидроксида натрия, концентрированными и разбавленными растворами соляной, серной и азотной кислот. Что наблюдается на холоде и при нагревании? Напишите уравнения реакций.

27.2. Соединения марганца(II)

Гидроксид марганца(II)

Исходя из раствора соли марганца(II) получите гидроксид марганца(II). Отметьте окраску полученного осадка, разделите его на несколько частей. Одну часть оставьте на воздухе, остальные быстро поместите в пробирки и подействуйте растворами кислот и щелочей (на холоду и при нагревании), бромной водой. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Чем следует осаждать гидроксид марганца(II)?

Соли марганца(II)

1. К 1—2 мл раствора соли марганца(II) в пробирке прилейте раствор сульфата аммония (или натрия). Отметьте окраску выпавшего осадка. Оставьте пробирку с осадком на некоторое время на воздухе. Изменяется ли окраска осадка?

2. К 1—2 мл раствора соли марганца(II) в пробирке добавьте раствор оксалата аммония. Отметьте окраску образующегося осадка.

3. К 1—2 мл разбавленного раствора сульфата марганца(II) в пробирке, подкисленного серной кислотой, добавьте каплю раствора нитрата серебра и

несколько кристаллов персульфата (пероксодисульфата) калия или аммония, затем нагрейте. Что наблюдаете?

Напишите уравнения реакций.

Какова роль нитрата серебра в реакции окисления марганца(II)?

27.3. Соединения марганца(III)

К 3—4 мл раствора сульфата марганца(II) в пробирке, подкисленного серной кислотой, добавьте раствор пиррофосфата натрия. Затем прилейте по каплям свежеприготовленный концентрированный раствор перманганата калия. Что наблюдаете после добавления каждой новой капли? Напишите уравнение реакции.

27.4. Соединения марганца(IV)

К раствору соли марганца(II) в пробирке добавьте раствор перманганата калия. Что происходит? Отметьте изменение окраски раствора. Полученный осадок разделите на несколько частей и проверьте на действие концентрированной соляной кислоты, концентрированного раствора щелочи, подкисленного раствора пероксида водорода, щавелевой кислоты. Что наблюдаете в каждом случае? Напишите уравнения реакций.

27.5. Соединения марганца(V)

Расплавьте в петельке нихромовой проволоки (см. опыт «Окрашенные перлы буры», подразд. 20.3) кусочек твердого гидроксида натрия нагреванием в пламени горелки. Добавьте к расплаву немного порошка оксида марганца(IV) и вновь прогрейте в пламени. Что наблюдаете? Отметьте окраску полученного плава. Напишите уравнение реакции.

27.6. Соединения марганца(VI)

Получение манганата калия. Поместите в пробирку 0,5 г тонкоизмельченного перманганата калия и добавьте 5 мл концентрированного раствора гидроксида калия. Пробирку поставьте в стакан с кипящей водой и продолжайте нагревание до перехода окраски раствора в темно-зеленую. Напишите уравнения реакций.

Свойства манганата(VI).

1. Несколько капель полученного раствора перенесите в пробирку и сильно разбавьте водой. Что происходит? Изменяется ли окраска раствора?

2. Несколько капель раствора манганата(VI) калия разбавьте 5 мл воды и подкислите раствором серной кислоты. Что наблюдаете? Как изменяется окраска раствора?

3. К раствору щелочи добавьте несколько капель манганата(VI) калия и несколько капель этилового спирта и осторожно нагрейте. Что наблюдаете?

4. К разбавленному раствору манганата(VI) калия добавьте несколько кристалликов щавелевой кислоты. Раствор подогрейте. Что наблюдаете? Как изменяется окраска раствора? Проведите опыты с избытком и недостатком щаве-

левой кислоты. Как зависит состав продуктов реакции от соотношения исходных реагентов?

5. К раствору манганата(VI) калия добавьте концентрированный раствор хлорида бария. Что происходит?

Напишите уравнения реакций.

27.7. Свойства перманганата калия

1. Несколько кристалликов перманганата калия поместите в сухую пробирку и нагрейте. Что происходит? Какой газ выделяется? После охлаждения пробирки добавьте воду. Отметьте окраску образующегося раствора. Напишите уравнения реакций.

2. К 1 мл концентрированного раствора перманганата калия добавьте 5 мл концентрированного раствора гидроксида калия. В полученный раствор маленькими порциями при перемешивании добавляйте сухую глюкозу. Отметьте изменения окраски раствора. Напишите уравнения реакций.

3. К 1—2 мл растворов перманганата калия в двух пробирках прибавьте растворы сульфида натрия и иодида калия соответственно, затем подогрейте. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

4. Налейте в три пробирки по 1—2 мл раствора перманганата калия и добавьте, соответственно, по несколько капель растворов сульфата железа(II), сульфита и сульфида натрия. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Как влияет рН среды на характер восстановления перманганата в водном растворе? Сравните значения стандартных электродных потенциалов восстановления перманганат-иона в кислой, нейтральной и щелочной средах.

27.8. Синтезы по теме «Марганец»

Получение марганца методом алюминотермии

(Опыт проводите в вытяжном шкафу под наблюдением преподавателя! Наденьте очки или маску!)

Методика алюминотермического восстановления оксидов приведена в разделе «Алюминий», подразд. 23.4, рис. 103. Поместите в фарфоровый тигель 16 г тонкоизмельченного оксида марганца(IV) и прокалите в муфельной или тигельной печи 1 ч при 800 °С. Что при этом образуется? Полученный в результате прокаливания продукт тщательно перемешайте в фарфоровой ступке с 4 г алюминиевых опилок. Смесь поместите в шамотовый тигель. В качестве зажигательной смеси возьмите 2—3 г смеси порошка магнезия и пероксида бария, взятых в массовом соотношении 1:9 (*зажигательную смесь ни в коем случае нельзя растирать в ступке!*).

По окончании реакции и охлаждения тигля извлеките «королек» металла, очистите его от шлака, взвесьте. Рассчитайте выход в процентах. Напишите уравнения реакций. Полученный металл используйте для исследования свойств марганца (см. подразд. 27.1.)

Почему для получения металлического марганца алюминотермическим способом не применяют оксид марганца(IV)?

Тригидрат триоксалатоманганата(III) калия

Растворите 5,0 г щавелевой кислоты в 50 мл воды, раствор нагрейте на водяной бане до 70—75 °С. Добавьте небольшими порциями при перемешивании 1,0 г растертого перманганата калия, перемешивая реакцию до обесцвечивания. Затем внесите небольшими порциями 1,1 г карбоната калия и охладите в бане со льдом при энергичном перемешивании. Все дальнейшие операции проводите в затемненном стакане.

К охлажденному до 0—2 °С раствору постепенно маленькими порциями в течение 10 мин при перемешивании прибавьте 0,3 г растертого перманганата калия. Следите за изменением окраски. К вишнево-красному раствору добавьте 25 мл охлажденного льдом спирта и оставьте на 2 ч для кристаллизации в охлаждающей смеси льда с хлоридом натрия.

Выделившееся соединение быстро отфильтруйте с помощью стеклянного пористого фильтра, промойте охлажденным спиртом, а затем эфиром. Полученные темно-красно-фиолетовые кристаллы высушите в затемненном эксикаторе над оксидом фосфора(V), перенесите в пробирку с пробкой и взвесьте. Пробирку оберните алюминиевой фольгой или черной бумагой: чистые препараты без доступа света продолжительно устойчивы при $t \leq 20$ °С. Рассчитайте выход в процентах. Напишите уравнения реакций.

Моногидрат пентахлороманганата(III) калия и гексахлороманганат(IV) калия

Внесите в вытяжном шкафу маленькими порциями 2,5 г порошка перманганата калия в колбу с 25 мл концентрированной соляной кислоты при постоянном встряхивании реакционной смеси. Образующийся мелкий коричневый осадок при частом встряхивании постепенно растворяется с интенсивным выделением хлора. Реакционную смесь оставьте на 2 ч, затем слейте раствор с осадка в химический стакан. Черный осадок гексахлороманганата(IV) калия перенесите на стеклянный пористый фильтр, отфильтруйте осадок, высушите вещество на воздухе и взвесьте. Рассчитайте выход в процентах.

К темному красно-коричневому раствору в стакане приливайте по каплям при перемешивании концентрированный водный раствор хлорида калия до тех пор, пока раствор не станет лишь слабоокрашенным. Выпавший кристаллический коричневый осадок моногидрата пентахлороманганата(III) калия отфильтруйте на стеклянном пористом фильтре, высушите в эксикаторе над гидроксидом калия и взвесьте. Рассчитайте выход в процентах. Напишите уравнения реакций.

13-Ванадоманганат(IV) калия — $K_7[MnV_{13}O_{38}] \cdot 18H_2O$

Налейте в химический стакан 100 мл воды и внесите 2,4 г оксида ванадия(V) и 1,8 г карбоната калия. Полученную смесь при перемешивании нагрейте до 60—80 °С. Для ускорения растворения оксида ванадия(V) добавьте 1—2 мл 3%-ного раствора пероксида водорода. После того, как весь оксид ванадия(V) растворится, нагрейте раствор до кипения для разложения избытка пероксида водорода и профильтруйте на воронке для горячего фильтрования. Горячий фильтрат подкислите до $pH = 4 \div 5$, добавляя по каплям при энергичном пере-

мешивании 1 М раствор азотной кислоты. К этому раствору, нагретому до 60—70 °С, медленно прибавьте по каплям при интенсивном перемешивании два раствора: вначале свежеприготовленный раствор 0,3 г перманганата калия в 20 мл воды, а затем 10 мл 1%-ного раствора пероксида водорода.

После смешения растворов продолжайте перемешивание еще в течение 15 мин, затем упарьте в фарфоровой чашке на водяной бане до объема 40—50 мл и профильтруйте горячим. Фильтрат оставьте на ночь в холодном месте для кристаллизации. Выпавшие кристаллы отделите на стеклянном пористом фильтре, промойте небольшим количеством охлажденной в бане со льдом воды, высушите на воздухе и взвесьте. Рассчитайте выход в процентах. Напишите уравнения реакций.

Манганат(V) натрия

Приготовьте насыщенный при 0 °С раствор 0,5 г перманганата калия в воде. В высокий химический стакан или большую пробирку внесите 20 мл 30%-ного раствора гидроксида натрия и растворите в нем 6,0 г тщательно растертого гептагидрата сульфита натрия и поместите в баню с охлаждающей смесью льда и хлорида натрия. После охлаждения реакционной смеси до 0 °С добавьте к ней небольшими порциями при непрерывном перемешивании охлажденный раствор перманганата калия. Что наблюдаете? Выпавшие кристаллы отфильтруйте на стеклянном пористом фильтре и промойте охлажденным до 0 °С 40%-ным раствором гидроксида натрия. Небольшое количество полученного вещества растворите в воде. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций. Вещество не сохраняется. При повышении температуры разлагается.

Манганат(VI) калия

Приготовьте в химическом стакане раствор 2,0 г перманганата калия и 6,0 г гидроксида калия в 10 мл воды, закройте часовым стеклом и нагрейте до кипения. Раствор кипятите до перехода окраски в чисто зеленый цвет (особенно заметно изменение цвета брызг на стенках стакана). Затем добавьте в стакан воду до исходного объема раствора и поставьте в баню со льдом. Выпавшие кристаллы отделите на стеклянном пористом фильтре, промойте небольшим количеством 1 М раствора гидроксида калия и высушите в эксикаторе над фосфорным ангидридом. Отметьте цвет полученного вещества. Сухие кристаллы взвесьте и рассчитайте выход в процентах. Напишите уравнение реакции.

ГЛАВА 28

ЖЕЛЕЗО, КОБАЛЬТ, НИКЕЛЬ

28.1. Свойства железа, кобальта и никеля

1. Подействуйте на железную проволоку или опилки концентрированными и разбавленными растворами соляной, серной и азотной кислот на холоду и при нагревании. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

1. Какое положение занимают элементы семейства железа в ряду напряжений металлов? Как они взаимодействуют с водой, кислотами и щелочами?

2. Напишите уравнения реакций кобальта и никеля с разбавленными и концентрированными растворами кислот: соляной, серной, азотной, на холоду и при нагревании.

2. На двух пластинках из оцинкованного и луженого железа проведите напильником черту так, чтобы снять металлический защитный слой, смочите обе пластинки 10%-ным раствором хлорида натрия и оставьте их на воздухе. Что происходит? Напишите уравнения реакций.

Что такое ржавление железа? От каких факторов зависит этот процесс? Как относятся железо, кобальт и никель к кислороду воздуха?

28.2. Гидроксиды железа, кобальта и никеля

Гидроксид железа(II)

Приготовьте воду, не содержащую растворенного кислорода. Для этого прокипятите дистиллированную воду 5—10 мин, пропуская в нее азот, а затем охладите воду в токе газа до комнатной температуры. Закройте колбу пробкой.

Используя эту воду, растворите в одной пробирке немного соли Мора, добавьте несколько капель 10%-ного раствора серной кислоты и положите несколько кусочков железа. В другой пробирке приготовьте раствор гидроксида натрия. Прилейте по каплям раствор соли Мора к раствору щелочи. Что происходит? Каков цвет осадка? Оставьте осадок на воздухе. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Проделайте аналогичный опыт, пользуясь имеющимися растворами сульфата железа(II) и щелочи. Сравните и объясните полученные результаты.

Гидроксид железа(III)

Осадите гидроксид железа(III) из раствора соли железа(III) и исследуйте его отношение к кислоте и избытку концентрированной щелочи. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Чем следует осаждать гидроксид железа(III)? Какой из гидроксидов железа — (II) или (III) — обладает более основными свойствами и чем это можно объяснить?

Гидроксид кобальта(II)

К 1—2 мл раствора гидроксида натрия в пробирке прилейте раствор соли кобальта(II). Отметьте цвет образующегося осадка. Нагрейте содержимое пробирки при встряхивании. Как изменяется цвет осадка? Испытайте действие кислоты и щелочи на свежесажженный гидроксид кобальта(II). Что наблюдаете? Оставьте свежесажженный гидроксид кобальта(II) на воздухе. Что происходит? Напишите уравнения реакций.

Гидроксид кобальта(III)

В две пробирки налейте раствор соли кобальта(II); в одну из них добавьте бромной воды, в другую — пероксид водорода, затем в обе прилейте по каплям раствор гидроксида натрия. Что происходит? Напишите уравнения реакций.

Как можно получить гидроксид кобальта(IV)?

Гидроксид никеля(II)

Осадите гидроксид никеля(II) из раствора его солей. Подействуйте на осадок растворами кислоты и щелочи. Что происходит? Часть свежесозданного гидроксида никеля(II) оставьте на воздухе. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Чем следует осаждать гидроксид никеля(II)?

Гидроксид никеля(III)

К осадку гидроксида никеля(II) прилейте бромной воды. Что происходит? Напишите уравнение реакции.

Чем объясняется разное отношение гидроксидов железа(II), кобальта(II), никеля(II) к кислороду воздуха? Почему способ получения гидроксидов кобальта(III) и никеля(III) отличается от способа получения гидроксида железа(III)? Как и почему изменяются кислотно-основные свойства гидроксидов железа, кобальта и никеля в зависимости от их степени окисления?

28.3. Соли железа

Свойства солей железа(II)

Приготовьте 10—15 мл раствора соли Мора и определите рН. Определите рН раствора сульфата железа(II). Напишите уравнение протолитического равновесия и объясните наблюдаемые явления.

Почему при изучении свойств соединений железа(II) в качестве исходного вещества следует брать свежеприготовленную соль Мора?

1. К 1—2 мл раствора соли Мора в пробирке прилейте раствор карбоната натрия. Что наблюдаете? Оставьте осадок на воздухе. Что происходит? Напишите уравнения реакций.

2. К 1—2 мл раствора соли Мора в пробирке прилейте раствор гексацианоферрата(III) калия (красной кровяной соли). Что наблюдаете? Напишите уравнение реакции.

3. К раствору соли Мора добавьте раствор сульфида аммония или сульфида натрия. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

4. Подкисленный серной кислотой раствор соли Мора поместите в несколько пробирок. Добавьте в них растворы перманганата калия, дихромата калия, хлорную, бромную и иодную воду. Что происходит? Напишите уравнения реакций.

Объясните наблюдаемые явления с использованием данных по стандартным окислительно-восстановительным потенциалам.

Свойства солей железа(III)

1. Определите рН раствора хлорида железа(III). Напишите уравнение протолитического равновесия.

Какие соли сильнее гидролизуются в растворах — железа(II) или железа(III)?

2. К раствору хлорида железа(III) добавьте раствор карбоната натрия. Что происходит? Каков состав образовавшегося осадка? Напишите уравнение реакции.

3. В две пробирки налейте по 1—2 мл раствора хлорида железа(III). В одну пробирку добавьте несколько капель раствора роданида аммония, в другую — раствора гексацианоферрата(II) калия (желтой кровяной соли). Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Для чего используются эти реакции?

4. Добавьте к 1—2 мл раствора хлорида железа(III) в двух пробирках сульфид натрия и иодид калия? Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

В каких условиях соли железа(III) переходят в соли железа(II) и обратно? Как можно получить феррит натрия? Какие соли в равной концентрации гидролизуются сильнее — феррит натрия или сульфат железа(III)? От чего это зависит?

Получение и свойства раствора феррата(IV)

Добавьте к 5 мл раствора нитрата железа(III) 5%-ный раствор гидроксида натрия, выпавший осадок отделите от раствора декантацией. Осадок перенесите в стакан, содержащий 10 мл 20%-ного раствора гидроксида натрия, и нагревайте смесь до полного растворения гидроксида железа. Полученный слабо-зеленоватый раствор поместите в промывалку, а промывалку в свою очередь — в кипящую водяную баню и пропускайте через раствор ток воздуха до полного обесцвечивания (5—6 ч, можно с перерывом). Напишите уравнения реакций.

1. Добавьте каплю полученного раствора феррата(IV) к 1—2 мл подкисленного раствора иодида калия. Что наблюдаете? Напишите уравнение реакции.

2. Налейте в пробирку 1 мл раствора сульфата марганца и 1 мл 1 М раствора серной кислоты и добавьте к нему по каплям раствор феррата(IV). Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

3. К 1—2 мл раствора феррата(IV) добавьте растворы сульфида натрия и сульфата марганца(II). Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Получение и свойства ферратов (VI)

1. Поместите в фарфоровую чашку 0,5 г измельченного гидроксида калия, добавьте 3—5 капель концентрированного раствора хлорида железа(III) и затем 2—3 капли брома (*в вытяжном шкафу! В защитных очках и перчатках!*) После непродолжительного нагревания на водяной бане охладите чашку с содержимым, добавьте 15—20 мл воды и перенесите раствор в небольшой стакан. Что наблюдаете? Какое вещество сообщает окраску раствору? Напишите уравнения реакций.

2. К 1—2 мл насыщенного раствора нитрата железа(III) в пробирке добавьте по каплям 10%-ный раствор гидроксида натрия до полноты осаждения. Декантируйте осадок от маточного раствора, добавьте к осадку небольшой избыток предварительно приготовленного щелочного раствора гипохлорита натрия и нагревайте смесь на водяной бане до полного растворения осадка. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

3. Разлейте полученный раствор феррата(VI) в три пробирки. В первую добавьте раствор хлорида бария, во вторую — несколько капель раствора сульфида натрия, в третью — 20%-ный раствор серной кислоты. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Какими свойствами обладают соединения железа(VI)?

28.4. Соединения кобальта

Свойства солей кобальта(II)

1. Поместите в пробирку несколько кристаллов безводного хлорида кобальта(II), полученного взаимодействием кобальта с газообразным хлором (подразд. 33.1), и смочите их водой. Как изменяется окраска? Добавьте концентрированную соляную кислоту. Каков теперь цвет раствора? Напишите уравнения реакций.

2. К раствору сульфата кобальта(II) в одной пробирке прилейте сероводородную воду, в другой — раствор сульфида натрия. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Оксиды кобальта

1. Поместите в фарфоровый тигель 0,5—0,7 г нитрата кобальта(II) и прокалите в пламени газовой горелки. Что наблюдаете? Напишите уравнение реакции.

Как определить окончание реакции? Какой еще оксид кобальта может образоваться в зависимости от температуры?

2. Полученный оксид кобальта поместите в три пробирки и обработайте концентрированной соляной кислотой и разбавленными азотной или серной кислотами. Что происходит? Какой газ выделяется в каждом случае? Напишите уравнения реакций.

28.5. Соединения никеля

Свойства солей никеля(II)

1. К 1—2 мл растворов сульфата никеля(II) в двух пробирках добавьте раствор карбоната натрия и раствор гидрокарбоната натрия. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

2. Добавьте к раствору соли никеля(II) в одной пробирке несколько капель сульфида натрия, а к раствору в другой пробирке — сероводородную воду (*в вытяжном шкафу!*). Что наблюдаете в обоих случаях? Напишите уравнения реакций.

Каковы произведения растворимостей сульфидов железа(II), кобальта(II) и никеля(II)?

Оксид никеля(III)

1. К раствору 0,5 г сульфата никеля(II) прилейте при перемешивании раствор гидроксида натрия до полноты осаждения, а затем несколько капель

брома (бромной воды). Что наблюдаете? Смесь нагрейте до кипения и дайте отстояться. Осадок промойте водой методом декантации. Напишите уравнение реакции.

2. Небольшие количества полученного оксида никеля(III) поместите в ряд пробирок и подействуйте концентрированной и разбавленной соляной кислотой, разбавленными азотной или серной кислотами. Напишите уравнения реакций.

28.6. Комплексные соединения железа, кобальта и никеля

Аммиакаты кобальта и никеля

1. К растворам солей кобальта(II) и никеля(II) прилейте сначала немного, а затем избыток концентрированного раствора аммиака. Что происходит при постепенном прибавлении аммиака? Напишите уравнения реакций.

2. Добавьте к растворам солей кобальта(II) и никеля(II) хлорид аммония и вновь прилейте по каплям концентрированный раствор аммиака. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

3. Прокипятите аммиачный раствор соли кобальта, встряхивая пробирку. Зачем? Что происходит? Объясните изменение окраски раствора и напишите уравнение реакции.

4. Внесите несколько капель полученных растворов аммиакатов в подкисленный раствор иодида калия. Что происходит? Напишите уравнения реакций.

Какое координационное число проявляют кобальт и никель в полученных аммиакатах? К какому типу комплексов (низко- или высокоспиновых) они относятся? Какой тип гибридизации орбиталей реализуется при образовании этих комплексов? Какой пространственной конфигурации это соответствует?

Гексанитристокобальтат(III) калия

К раствору соли кобальта(II) прилейте немного уксусной кислоты и избыток нитрита калия (*в вытяжном шкафу!*). Смесь подогрейте. Что наблюдаете? Напишите уравнение реакции.

Какое координационное число у кобальта в полученном соединении? Каким из атомов нитрит-иона координируется кобальт?

28.7. Синтезы по теме «Железо, кобальт, никель»

Получение железа методом алюминотермии

(Опыт проводите в вытяжном шкафу под наблюдением преподавателя! Наденьте очки или маску!)

Методика алюминотермического восстановления оксидов приведена в разделе «Алюминий», подразд. 23.4, рис. 103. Прокалите в железном тигле оксид железа(III). Приготовьте смесь из 15 г оксида железа и 5 г порошка алюминия. На дно хорошо просушенного шамотового тигля поместите 3 г порошка фторида кальция, а затем реакционную смесь и утрамбуйте ее пестиком. В качестве зажигательной смеси возьмите 2—3 г смеси порошка магнезия и пероксида ба-

рия, взятых в весовом соотношении 1 : 9 (*зажигательную смесь ни в коем случае нельзя растирать в ступке!*).

По завершении реакции и охлаждения тигля извлеките «королек» металла и взвесьте. Определите выход в процентах. Напишите уравнение реакции.

Оксид железа(II)

Соберите в вытяжном шкафу прибор (рис. 108). Приготовьте оксалат железа(II). Для этого к 20 мл раствора соли Мора прилейте раствор оксалата аммония до полноты осаждения железа. Осадок промойте несколько раз водой путем декантации, затем отфильтруйте на стеклянном пористом фильтре, отмойте от сульфат-ионов и высушите при 100 °С.

Поместите фарфоровую лодочку 4 с полученным оксалатом железа(II), взвешенным с точностью $\pm 0,01$ г, в кварцевую трубку 2 и прокалите в токе азота или диоксида углерода при 500—600 °С. Предварительно из прибора должен быть вытеснен воздух. По окончании реакции охладите прибор в токе азота (диоксида углерода) и быстро высыпьте полученный препарат во взвешенный и наполненный углекислым газом бюкс. Закройте его крышкой и взвесьте. По результатам взвешивания определите состав полученного оксида. Напишите уравнения реакций.

Каков цвет оксида железа(II)? Что получается при прокаливании оксида железа(II) на воздухе?

Соль Мора

Поместите в колбу или пробирку с клапаном Бунзена (см. рис. 105) 1 г мелко нарезанной железной проволоки и растворите при нагревании в двукратном по отношению к железу количестве 20%-ного раствора серной кислоты. После растворения всего железа раствор при необходимости профильтруйте и смешайте с эквимольным количеством горячего насыщенного раствора сульфата аммония.

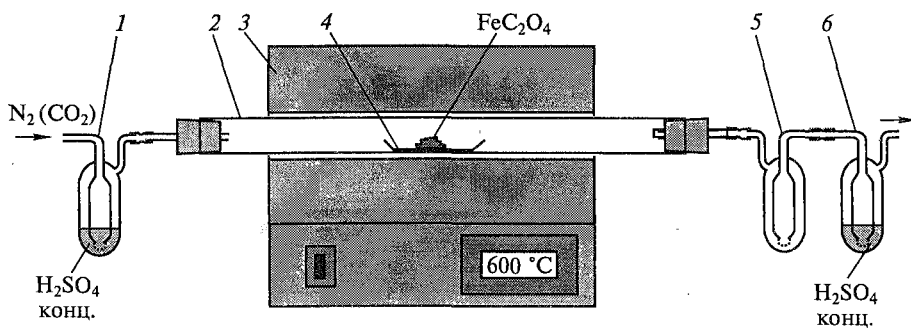


Рис. 108. Прибор для получения оксида железа(II):

1, 6 — промывалки с серной кислотой; 2 — кварцевая трубка; 3 — печь; 4 — фарфоровая лодочка; 5 — предохранительная промывалка

Полученный раствор перенесите в фарфоровую чашку и упарьте на водяной бане до начала кристаллизации. После охлаждения раствора (лучше медленного) выделившиеся кристаллы отфильтруйте на стеклянном пористом фильтре, промойте их небольшим количеством предварительно прокипяченной охлажденной воды и высушите на воздухе или в эксикаторе над концентрированной серной кислотой. Сухие кристаллы взвесьте и рассчитайте выход в процентах. Напишите уравнения реакций.

Растворите несколько кристаллов соли в воде и определите, какие ионы присутствуют в растворе.

К какому классу соединений относится эта соль?

Хлорид железа(II)

Соберите прибор для хлорирования в токе сухого хлороводорода (рис. 109). В кварцевую реакционную трубку 5 поместите фарфоровую лодочку 7 с 0,5 г железной проволоки или железных опилок. Вытесните воздух из прибора хлороводородом, включите печь 6 и проведите хлорирование железа в токе хлороводорода при 550—600 °С до полного расходования металла (~1 ч), затем охладите печь, не прекращая пропускать газ. После охлаждения полученное вещество перенесите в бюкс и взвесьте. Определите, в какой степени окисления находится железо в полученном соединении. Напишите уравнения реакций.

Феррит натрия

Смешайте в железном тигле 1,0 г порошка оксида железа(III) и 10 г безводного карбоната натрия. Сплавьте смесь в тигельной (шахтной) печи при 800—

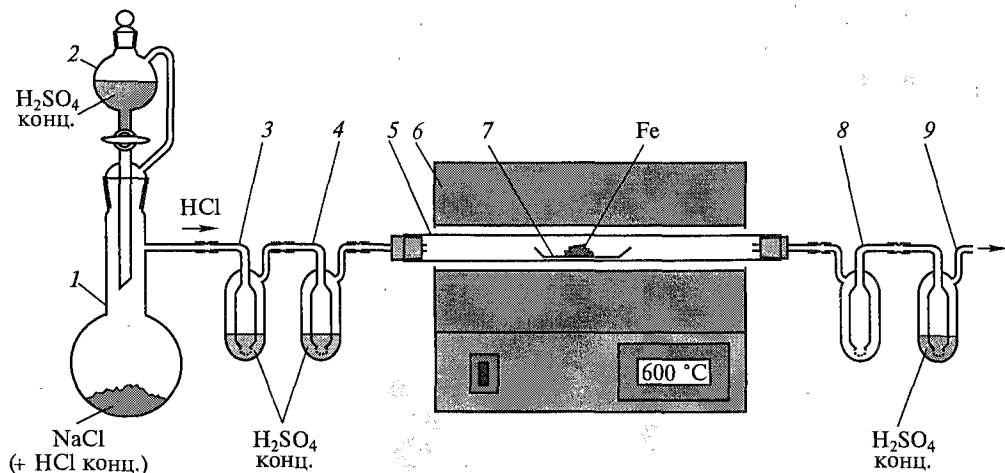


Рис. 109. Прибор для получения хлорида железа(II);

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3, 4, 9 — промывалки с серной кислотой; 5 — кварцевая реакционная трубка; 6 — печь; 7 — фарфоровая лодочка; 8 — предохранительная промывалка

900 °С. Горячий расплав вылейте на металлическую пластину. По остывании кусочки сплава разотрите в ступке и внесите полученный порошок в стакан с водой. Что наблюдаете? Каковы продукты гидролиза феррита натрия? Определите рН раствора. Напишите уравнения реакций.

Триоксалатоферрат(III) калия

Поместите в химический стакан 6,0 г гидрата оксалата калия, добавьте 20 мл дистиллированной воды и нагрейте до растворения (не кипятите!). Во втором стакане растворите 3,0 г гексагидрата хлорида железа(III) в минимальном количестве холодной воды (~6—10 мл). Добавьте раствор хлорида железа в теплый раствор оксалата калия и перемешайте. Охладите полученный раствор в бане со льдом для кристаллизации. (*Защищайте раствор от яркого света! Что происходит на свету?*) Выпавшие кристаллы отделите на стеклянном пористом фильтре, промойте на фильтре 10 мл ацетона и для осушения несколько минут пропускайте воздух через фильтр. Определите массу вещества и выход продукта в процентах. (*Препарат нельзя запаивать в ампулу!*)

При необходимости перекристаллизуйте полученное вещество. Для этого препарат поместите в стакан, добавьте дистиллированной воды из расчета 2,6 мл на 1,0 г вещества и нагрейте до полного растворения. При наличии нерастворимых примесей раствор профильтруйте на воронке для горячего фильтрования. Фильтрат охладите в бане со льдом, выпавшие кристаллы отфильтруйте на стеклянном пористом фильтре, дважды промойте холодной дистиллированной водой (5 мл). Вещество перенесите в фарфоровую чашку и высушите в сушильном шкафу при 50 °С в течение 30 мин. Сухие кристаллы поместите в бюкс и взвесьте. Рассчитайте выход в процентах. Напишите уравнения реакций.

Почему триоксалатоферрат(III) калия нельзя запаивать в ампулу?

Гексанитритокобальтат(III) натрия (комплекс Фишера)

Растворите 15 г нитрита натрия в 20 мл кипящей воды в плоскодонной колбе, затем раствор охладите до 50—60 °С, добавьте 5,0 г гексагидрата нитрата кобальта(II) и, при встряхивании, небольшими порциями, ~5 мл 50%-ного раствора уксусной кислоты. Пропустите через раствор, охлажденный до комнатной температуры, сильный ток воздуха в течение не менее получаса.

Осадок отфильтруйте на стеклянном пористом фильтре, фильтрат должен быть прозрачным. Вещество с фильтра перенесите в стакан с 10 мл воды, нагретой до 70—80 °С, тщательно перемешайте и вновь отфильтруйте на том же фильтре.

Фильтраты объедините и прилейте к ним 30 мл этилового спирта. Раствор оставьте на несколько часов для кристаллизации. Выпавший осадок отделите на стеклянном пористом фильтре, промойте спиртом, а затем эфиром и высушите на воздухе. Полученное вещество взвесьте и рассчитайте выход в процентах. Рассмотрите кристаллы под микроскопом. Докажите, что получена комплексная соль кобальта(III). Напишите уравнения реакций.

Хлорид гексаамминкобальта(III)

Растворите в 5 мл воды при комнатной температуре 4,0 г гексагидрата хлорида кобальта(II) и 3,0 г хлорида аммония. Добавьте к смеси 0,25 г активированного угля и 25 мл 25%-ного раствора аммиака. В полученную смесь прилейте маленькими порциями 30%-ный раствор пероксида водорода до прекращения выпадения оранжево-желтого осадка. Осадок вместе с активированным углем отфильтруйте вначале на неразогретой воронке для горячего фильтрования и промойте малыми порциями холодной воды до исчезновения в фильтрате красной окраски. Затем разогрейте воронку для горячего фильтрования и минимальными порциями кипящего 1%-ного раствора соляной кислоты растворите осадок хлорида гексаамминкобальта(III). Соберите фильтрат в стакан и охладите в бане со льдом. Выпавшие кристаллы отделите на стеклянном пористом фильтре. Промойте вещество на фильтре сначала ледяной водой, а затем этиловым спиртом и высушите на воздухе. Сухие кристаллы перенесите в бюкс, взвесьте и рассчитайте выход в процентах. Докажите, что получена комплексная соль кобальта(III). Напишите уравнения реакций.

Почему реакция проводится в присутствии активированного угля и избытка хлорида аммония?

Хлорид пентаамминхлорокобальта(III)

Растворите 2,5 г хлорида кобальта(II) в 25 мл концентрированного раствора аммиака и добавьте 20 г хлорида аммония. Через полученную смесь 3 ч пропускайте воздух (рис. 110) или прибавьте рассчитанное количество пероксида водорода.

Перенесите раствор с осадком в химический стакан и при непрерывном перемешивании прилейте небольшими порциями 10%-ный раствор соляной кислоты до кислой реакции. Кислый раствор нейтрализуйте 10%-ным раствором аммиака до нейтральной реакции, а затем добавьте 2—3 мл его избытка. Стакан с полученной смесью поместите в водяную баню и грейте 1 ч, затем прилейте 35 мл концентрированной соляной кислоты и продолжите нагревание на водяной бане еще 40 мин.

Выпавшие после охлаждения раствора кристаллы отфильтруйте на стеклянном пористом фильтре, промойте 10%-ным раствором соляной кислоты, затем этиловым спиртом до нейтральной реакции фильтрата и высушите на воз-

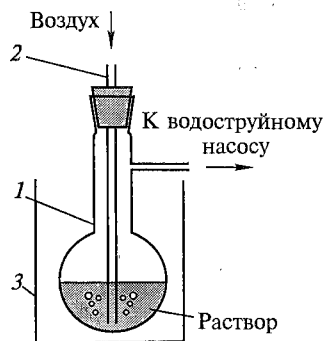


Рис. 110. Пропускание воздуха через раствор:
1 — колба Вюрца; 2 — трубка; 3 — защитный кожух

духе. Сухое вещество перенесите в бюкс и взвесьте. Рассчитайте выход в процентах. Докажите, что получена комплексная соль кобальта(III). Напишите уравнения реакций.

Какие изменения окраски наблюдаются при выполнении работы? Чем это вызвано?

Гексагидрат сульфата аммония и никеля (аналог соли Мора)

Прибавьте насыщенный раствор 2,5 г гексагидрата сульфата никеля к насыщенному раствору стехиометрического количества сульфата аммония и нагрейте смесь до кипения. Если выпавший вначале осадок полностью не растворился, то добавьте по каплям концентрированный раствор аммиака до полной прозрачности раствора. Раствор кипятите 15—30 мин.

После кипячения дайте раствору постоять 1 ч и профильтруйте. К фильтрату добавьте 5 мл 50%-ной серной кислоты и упарьте до объема 5—7 мл. Выпадение кристаллов гексагидрата двойной соли сульфата никеля и аммония начинается еще в горячем растворе. Охладите раствор в бане со льдом. Кристаллическое вещество отделите на стеклянном пористом фильтре, промойте вначале водой, охлажденной в бане со льдом, а затем спиртом. Для удаления спирта высушите вещество на воздухе. Сухие кристаллы перенесите в бюкс и взвесьте. Рассчитайте выход в процентах.

Бромид (иодид) гексаамминникеля(II)

Растворите 2,5 г нитрата никеля в возможно малом объеме воды и добавьте такое количество 25%-ного раствора аммиака, чтобы выпавший вначале осадок полностью растворился. При необходимости раствор профильтруйте. Добавьте насыщенный при 25—30 °С раствор бромида (иодида) калия и 10%-ный раствор аммиака до полного осаждения бромида (иодида) гексаамминникеля(II). Выпавший осадок тотчас же отфильтруйте на стеклянном пористом фильтре и промойте вначале два раза раствором осадителя, затем концентрированным раствором аммиака, смесью спирта и концентрированного раствора аммиака (1:1) и, наконец, этиловым спиртом. Высушите полученный препарат при температуре не выше 100 °С. Определите массу продукта и рассчитайте выход в процентах. Рассмотрите кристаллы под микроскопом. Докажите, что получена комплексная соль никеля(II). Напишите уравнения реакций.

Молибдоникелат(IV) аммония — $(\text{NH}_4)_6(\text{NiMo}_9\text{O}_{32}) \cdot 6,5\text{H}_2\text{O}$

Приготовьте раствор, содержащий 1,0 г сульфата никеля и эквимольное (1:1) количество персульфата аммония. Полученный раствор прибавьте по каплям к рассчитанному по уравнению реакции количеству 10 %-ного раствора гептамолибдата аммония, нагретого до 95 °С. При интенсивном перемешивании прокипятите раствор 5 мин и охладите до комнатной температуры. Осадок отделите на стеклянном пористом фильтре и промойте вначале последовательно небольшими порциями воды и спирта, охлажденными в бане со льдом, затем — эфира и высушите на воздухе. Определите массу продукта и рассчитайте выход в процентах. Докажите, что получена комплексная соль никеля(IV).

Напишите уравнения реакций.

ГЛАВА 29

МЕДЬ, СЕРЕБРО

29.1. Получение и свойства меди

1. Приготовьте 5 мл насыщенного при комнатной температуре раствора сульфата меди. Перелейте раствор в фарфоровую чашку и добавьте рассчитанное количество цинковой пыли. Для увеличения скорости взаимодействия реакционную смесь нагрейте на водяной бане. После завершения реакции раствор слейте, а полученный осадок промойте 5%-ным раствором соляной кислоты методом декантации. Полученную медь дважды промойте водой и высушите на фильтровальной бумаге.

2. Испытайте действие на медь:

разбавленных и концентрированных растворов серной, азотной, соляной кислот (на холоду и при нагревании); концентрированного раствора щелочи; концентрированного раствора аммиака (для этого поместите немного меди в стакан с 10—15 мл концентрированного раствора аммиака и пропустите ток воздуха).

Напишите уравнения всех реакций.

1. Зачем осадок после взаимодействия цинка с сульфатом меди промывают раствором соляной кислоты?

2. Предложите другие способы получения меди в лаборатории.

3. Объясните с использованием стандартных электродных потенциалов растворение меди в растворе аммиака при пропускании воздуха через раствор.

4. Каков состав продуктов окисления меди на воздухе?

29.2. Соединения меди(I)

Получение и свойства оксида меди(I)

Налейте в пробирку 3—5 мл 10%-ного раствора сульфата меди, добавьте к нему в небольшом избытке 20%-ный раствор гидроксида натрия. К раствору с осадком добавьте избыток глюкозы и перемешайте. Смесь нагрейте почти до кипения и оставьте стоять до завершения реакции восстановления. Полученный оксид меди(I) несколько раз промойте водой методом декантации и разделите на четыре пробирки.

Испытайте действие на оксид меди(I):

растворов серной кислоты (концентрированной и разбавленной, на холоду и при нагревании);

концентрированного раствора аммиака (полученный раствор оставьте на воздухе и отметьте изменение окраски);

концентрированного раствора соляной кислоты (кислоту добавляйте по каплям до полного растворения осадка);

20%-го раствора щелочи, который по каплям добавьте при охлаждении к полученному солянокислому раствору. Раствор с осадком нагрейте. Отметьте цвет осадков.

Что наблюдаете в каждом из опытов? Напишите уравнения реакций.

В чем причина разного взаимодействия оксида меди(I) с соляной, концентрированной и разбавленной серной кислотами?

Получение и свойства галогенидов меди(I)

Хлорид меди(I). Растворите 1,0 г хлорида меди(II) в 12 мл воды, добавьте в раствор 2 мл концентрированной соляной кислоты и 1,5 г меди. Реакционную смесь нагревайте, пока проба раствора, внесенная в пробирку с чистой водой, не перестанет окрашивать воду в голубой цвет. Для сохранения объема раствора постоянным периодически добавляйте воду. По окончании реакции перелейте раствор в стакан с 50 мл холодной воды. Полученный осадок отфильтруйте на стеклянном пористом фильтре и промойте водой. Напишите уравнение реакции.

Бромид меди(I). Растворите 1,0 г бромида меди(II) в 5 мл воды, полученный раствор подкислите серной кислотой и добавьте раствор сульфита натрия до прекращения выпадения осадка. Осадок отфильтруйте на стеклянном пористом фильтре и промойте водой. Напишите уравнение реакции.

Иодид меди(I). Приготовьте по 5 мл растворов, содержащих эквивалентные количества иодида калия и сульфата меди(II). Полученные растворы слейте, подкислите серной кислотой и добавьте раствор сульфита натрия до исчезновения окраски иода. Осадок отфильтруйте на стеклянном пористом фильтре и промойте водой. Напишите уравнения реакций.

Свойства галогенидов меди(I).

1. Испытайте действие на полученные галогениды меди(I): концентрированной соляной кислоты; растворов галогенидов калия; концентрированного раствора аммиака. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

2. Оставьте пробы галогенидов меди(I) на воздухе. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

3. Поместите небольшие количества галогенидов меди(I) в тигли и нагрейте в пламени газовой горелки. Что происходит? Напишите уравнения реакций.

1. На основании диаграммы Латимера сделайте вывод об устойчивости соединений меди(I) к диспропорционированию.

2. Какие еще восстановители можно использовать для получения соединений меди(I)? Какое координационное число характерно для комплексных соединений меди(I)?

29.3. Соединения меди(II)

Получение и свойства оксида и гидроксида меди(II)

1. К 2—3 мл горячего 5%-ного раствора гидроксида натрия в пробирке добавьте горячий раствор сульфата меди. Реакционную смесь нагревайте в течение 10 мин. Что наблюдаете? Полученный осадок промойте водой методом декантации.

2. К 2—3 мл раствора сульфата меди осторожно при перемешивании добавьте 2%-ный раствор гидроксида натрия. Что наблюдаете? Полученный осадок промойте методом декантации.

3. Осадки оксида и гидроксида меди(II) испытайте на действие: кислот, концентрированной щелочи (на холоду и при нагревании), глицерина, раствора аммиака. Что наблюдаете?

Напишите уравнения реакций.

1. Сравните термическую устойчивость гидроксидов меди(II) и меди(I).
2. Сравните кислотно-основные свойства гидроксидов меди(II) и меди(I).

Свойства солей меди(II)

1. Налейте по 1—2 мл раствора сульфата меди(II) в три пробирки и подействуйте растворами щелочи, сероводородной воды и сульфида натрия. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

2. Добавьте по каплям к 4—6 мл раствора сульфата меди(II) в пробирке концентрированный раствор аммиака, сначала немного, затем избыток. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Налейте по 1—2 мл полученного раствора в три пробирки и подействуйте растворами щелочи, сероводородной воды и сульфида натрия. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

1. Какие координационные числа имеет медь(II) в комплексных соединениях? Нарисуйте энергетическую диаграмму расщепления d -орбиталей для иона меди(II) (метод ТКП).

2. Какие ионы, содержащие медь, присутствуют в растворе сульфата тетрааммин-меди(II)? На основании опытов со щелочью и сероводородом сделайте вывод об относительной устойчивости этих ионов.

3. Поместите в фарфоровые тигли по 0,1—0,2 г кристаллогидратов нитрата меди(II), сульфата меди(II) и хлорида меди(II) и прокалите в пламени газовой горелки. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций последовательно-го разложения солей.

29.4. Получение и свойства серебра

Предварительно очищенную медную пластинку или проволоку поместите в пробирку с 0,01 М раствором нитрата серебра. Что наблюдаете? Испытайте действие на серебро азотной кислоты и сероводородной воды. Напишите уравнения реакций.

На основании данных о стандартных электродных потенциалах Ag^+/Ag , а также потенциалах для комплексных ионов, предположите, в чем можно растворить серебро.

29.5. Соединения серебра

Оксиды серебра

Оксид серебра(I). Прилейте в пробирку, содержащую 1 мл раствора нитрата серебра, 1 мл 0,1 М раствора гидроксида натрия. Отметьте цвет осадка. Полученный осадок промойте методом декантации и испытайте действие на него раствора аммиака. Напишите уравнения реакций.

Диоксид серебра. Налейте в пробирку 2—3 мл 10%-ного раствора гидроксида калия, добавьте 0,5 г пероксодисульфата калия и немного насыщенного раствора нитрата серебра. Содержимое пробирки тщательно перемешайте и нагревайте 10 мин при 85—90 °С. Осадок промойте несколько раз водой мето-

дом декантации. Отметьте цвет осадка. Добавьте немного получившегося вещества в пробирки с растворами иодида калия и марганца(II). Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Галогениды серебра

1. В три пробирки налейте по 1 мл раствора нитрата серебра и добавьте, соответственно, несколько капель раствора хлорида, бромида и иодида калия. Отметьте цвета осадков. Полученные галогениды промойте водой методом декантации, каждый из них разделите на три части и поместите в отдельные пробирки.

2. К первой серии проб добавьте концентрированный раствор аммиака (сначала немного, а потом избыток) и тщательно перемешайте. К прозрачному раствору добавьте немного азотной кислоты. Что наблюдаете?

Ко второй серии проб добавьте раствор тиосульфата натрия. Один из растворов прокипятите. Что наблюдаете?

К третьей серии проб добавьте избыток концентрированного раствора соляной кислоты. Что наблюдаете?

Напишите уравнения реакций.

1. Является ли «гидроксид серебра(I)» сильным основанием? Как это доказать?

2. Как меняется термическая устойчивость (распад на оксид и воду) гидроксидов элементов II и I групп Периодической системы при увеличении порядкового номера? Чем это можно объяснить?

3. На основании проведенных опытов, а также справочных данных по произведениям растворимости и константам устойчивости комплексных соединений сделайте вывод о растворимости галогенидов серебра, а также устойчивости комплексных соединений серебра.

29.6. Серебрение

Приготовление аммиачного раствора гидроксида серебра. Растворите 0,25 г нитрата серебра в 4 мл воды, осторожно по каплям, прибавьте концентрированный раствор аммиака до растворения выделившегося осадка. Добавьте 9 мл 3%-ного раствора гидроксида натрия, а затем снова раствор аммиака до исчезновения мути. Перелейте раствор в мерный цилиндр и добавьте воды до 20 мл.

Приготовление раствора глюкозы. Растворите 0,4 г глюкозы в 8 мл воды; добавьте 1 каплю концентрированного раствора азотной кислоты и кипятите смесь 2 мин. Раствор охладите и добавьте равный объем спирта.

С какой целью добавляют азотную кислоту?

Очистка сосуда перед серебрением. Тщательно вымойте пробирку раствором хромовой смеси, водопроводной, а затем дистиллированной водой и, наконец, спиртом.

Серебрение. Смешайте аммиачный раствор оксида серебра с раствором глюкозы в соотношении 10 : 1. Налейте в подготовленную 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.

29.7. Синтезы по теме «Медь, серебро»

Безводный хлорид меди(II)

Взаимодействие дигидрата хлорида меди(II) с хлоридом тионила. Соберите прибор для кипячения с обратным холодильником (см. рис. 102). В колбу 1 поместите 2,0 г дигидрата хлорида меди(II) и прилейте 20—25 мл хлорида тионила. Кипятите смесь при осторожном нагревании через асбестовую сетку в течение 1,0—1,5 ч. Колба должна находиться на расстоянии 1,0—1,5 см выше сетки.

Признаком окончания реакции служит прекращение кипения жидкости при отключении горелки и равномерное окрашивание осадка в коричневый цвет.

По окончании реакции замените обратный холодильник на дефлегматор и подсоедините холодильник Либиха, термометр, аллонж и приемник. Отгоните избыток хлорида тионила при атмосферном давлении. Сухое вещество перенесите в бюкс, взвесьте и рассчитайте состав кристаллогидрата хлорида меди(II). Напишите уравнение реакции.

Взаимодействие дигидрата ацетата меди(II) с хлороводородом в среде безводной уксусной кислоты. Соберите прибор (рис. 111). Поместите в колбу 1,0 г дигидрата ацетата меди(II), 40 мл ледяной уксусной кислоты (дважды вымороженной) и 2 мл уксусного ангидрида. Растворите соль при перемешивании и нагревании при 45 °С. Отметьте цвет полученного раствора.

Уберите нагревание и пропустите ток тщательно осушенного хлороводорода. Насыщение ведите до полного обесцвечивания раствора (1—1,5 ч). Осадок

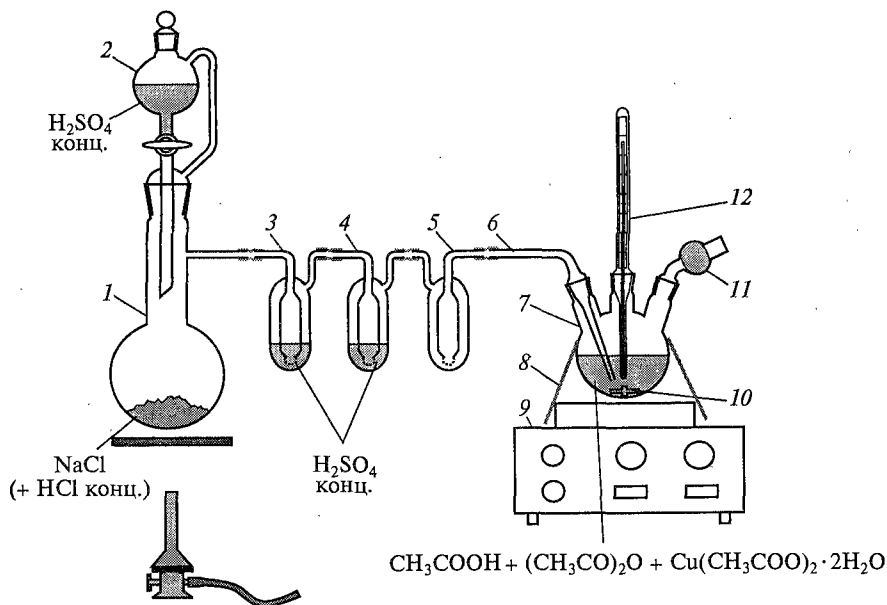


Рис. 111. Прибор для получения безводного хлорида меди(II):

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3, 4 — промывалки с серной кислотой; 5 — предохранительная промывалка; 6 — газоподводящая трубка; 7 — трехгорлая колба; 8 — тепловой экран; 9 — магнитная мешалка; 10 — перемешивающий элемент; 11 — хлоркальциевая трубка; 12 — термометр

отфильтруйте на стеклянном пористом фильтре в сухом воздухе и промойте ледяной уксусной кислотой и эфиром. Сухое вещество поместите в бюкс и взвесьте. Рассчитайте выход в процентах. Напишите уравнения реакций. Испытайте растворимость полученного продукта в спирте и ацетоне.

Гексагидрат двойного сульфата аммония и меди (аналог соли Мора)

Растворите при нагревании 1,0 г пентагидрата сульфата меди в 2,0 мл воды и прибавьте к нему насыщенный при 60 °С раствор эквимольного количества сульфата аммония. Охладите полученный раствор в бане со льдом. Выпавшие кристаллы отфильтруйте на стеклянном пористом фильтре, высушите на воздухе и взвесьте. Рассчитайте выход в процентах.

Полученные кристаллы рассмотрите под микроскопом и сравните с кристаллами пентагидрата сульфата меди(II). Несколько кристаллов растворите в небольшом количестве воды и испытайте действие на раствор сероводородной воды, сульфида аммония и раствора щелочи. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Какие ионы, содержащие медь, присутствуют в растворе двойной соли сульфата аммония и меди(II)? На основании опытов со щелочью и сероводородом сделайте вывод об относительной устойчивости этих ионов.

Ацетилацетонат меди(II)

Приготовьте в стакане раствор сульфата меди(II), растворив 3,0 г соли в 10 мл воды. Добавьте эквимольное количество ацетилацетона и — при постоянном перемешивании — насыщенный раствор карбоната натрия до прекращения выделения газа. Полученный осадок отфильтруйте на воронке со стеклянным фильтрующим дном, затем растворите в хлороформе, раствор профильтруйте через бумажный фильтр и оставьте в вытяжном шкафу до полного испарения растворителя. Выпавшие кристаллы перенесите в бюкс и взвесьте. Рассчитайте выход вещества в процентах. Испытайте полученное вещество к действию кислот, щелочей, аммиака и нагреванию. Напишите уравнения реакций.

1. Нарисуйте схему строения ацетилацетоната меди.
2. Почему образование комплекса лучше проходит в щелочной среде?

Бисоксалатокупрат(II) калия

Раствор 2,5 г пентагидрата сульфата меди в 10 мл воды нагрейте до 90 °С и 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 на воронке со стеклянным фильтрующим дном и промойте на фильтре холодной водой. Вещество высушите на воздухе и взвесьте. Рассчитайте выход в процентах. Рассмотрите полученные кристаллы под микроскопом. Испытайте полученный бисоксалатокупрат(II) калия к действию кислот (кристаллы растворите в теплой воде и добавьте несколько капель кислоты), нагреванию и прокаливанию. Напишите уравнения реакций.

Сульфат тетраамминмеди(II)

Растворите 0,5 г мелко растертого пентагидрата сульфата меди(II) в 12,5 мл 5%-ного раствора аммиака. Если раствор получился мутным, то профильтруйте его. К фильтрату добавьте 7,5 мл этанола и оставьте на некоторое время на холоду. Выпавшие кристаллы отфильтруйте на воронке со стеклянным фильтрующим дном и промойте вначале смесью этанола с концентрированным раствором аммиака (1 : 1), а затем, последовательно, этанолом и диэтиловым эфиром. Полученное вещество перенесите в бюкс и взвесьте. Рассчитайте выход в процентах. Напишите уравнения реакций.

Рассмотрите кристаллы сульфата тетраамминмеди(II) под микроскопом и сравните с кристаллами пентагидрата сульфата меди(II). Несколько кристаллов растворите в небольшом количестве воды и испытайте действие на раствор сероводородной воды, сульфида аммония и раствора щелочи. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Какие ионы, содержащие медь, присутствуют в растворе сульфата тетраамминмеди(II)? На основании опытов со щелочью и сероводородом сделайте вывод об относительной устойчивости этих ионов.

ГЛАВА 30

ЦИНК, КАДМИЙ, РТУТЬ

30.1. Соединения цинка и кадмия

Оксиды цинка и кадмия

Поместите в тигель несколько кристаллов нитратов цинка и кадмия и нагрейте их сначала осторожно, а затем прокалите. Какой цвет имеют получившиеся оксиды?

Гидроксиды цинка и кадмия

Налейте в две пробирки по 1 мл растворов солей цинка и кадмия. Прилейте к ним вначале несколько капель раствора щелочи, а затем избыток. Прodelайте аналогичный опыт с раствором аммиака. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Сульфиды цинка и кадмия

1. Налейте в две пробирки по 1 мл растворов солей цинка и кадмия. Прилейте к ним несколько капель раствора сульфида натрия. Отметьте цвет осадков. Промойте их методом декантации и испытайте действие на них сначала разбавленной, а затем концентрированной соляной кислоты. Что происходит? Напишите уравнения реакций.

2. Налейте в пробирку 1—2 мл раствора соли цинка. Определите pH раствора (универсальная индикаторная бумага). Добавьте к раствору немного концентрированного раствора тиосульфата натрия и смесь прокипятите. Что на-

блюждаете? Снова определите значение рН раствора. Напишите уравнения реакций.

1. Как меняются кислотно-основные свойства гидроксидов элементов II группы при переходе от цинка к ртути?
2. Какие координационные числа имеют цинк и кадмий в комплексных соединениях, каковы цвета комплексных соединений этих элементов?
3. Какой атом тиосульфат-иона координируется ионом цинка? Почему?

30.2. Соединения ртути

(Пары ртути и соединения ртути ядовиты. Все опыты со ртутью и ее соединениями проводите в вытяжном шкафу на эмалированных или пластмассовых поддонах.

По завершении эксперимента остатки ртути и неизрасходованных реагентов сдайте лаборанту, отходы ртути и ее соединений слейте в специальные банки на поддоне, руки вымойте с мылом. Не выбрасывайте и не сливайте ртуть и ее соединения в раковины.

Если случайно разлили ртуть или разбили ртутный термометр, то тотчас оградите место разлива ртути и обратитесь к лаборанту или преподавателю. Крупные капли ртути можно собрать, например, медной щеткой на маленький совок из меди или оцинкованного железа. Мелкие капли ртути залейте концентрированным раствором хлорида железа(III) и оставьте стоять до полного их растворения или насытите мелкоизмельченной серой.)

Оксиды ртути(I) и (II)

Налейте в две пробирки по 1 мл растворов нитратов ртути(I) и (II). Прилейте к ним по 1 мл 1 М раствора щелочи и перемешайте. Отметьте цвета осадков. Испытайте полученные осадки к действию избытка щелочи и азотной кислоты. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Соли ртути(I) и (II)

Поместите в две пробирки по несколько кристалликов нитратов ртути(I) и (II) и растворите каждый из них в 4 мл воды. Что наблюдаете? Добавьте несколько капель концентрированной азотной кислоты до образования прозрачного раствора, полученные растворы разлейте по 1 мл в четыре пары пробирок.

1. В первую пару пробирок добавьте раствор хлорида натрия.
2. Во вторую пару пробирок прибавьте раствор сульфида натрия, сначала несколько капель, а потом избыток.
3. В третью пару пробирок добавьте раствор хлорида олова(II), сначала несколько капель, а потом избыток.
4. В четвертую пару пробирок добавьте раствор аммиака.

Что наблюдаете в каждом из опытов? Напишите уравнения всех реакций.

Реактив Несслера

Приготовление реактива Несслера. В пробирку налейте 1—2 мл раствора соли ртути(II) и по каплям прилейте раствор иодида калия. Выпавший осадок про-

ре-
пы
ни-
и-
х.
ов
на
и-
ас
ю.
ий
т-
их

мойте водой методом декантации. Затем к осадку добавьте раствор иодида калия до полного растворения осадка. После растворения осадка к раствору добавьте несколько капель 10%-ного раствора гидроксида калия.

Обнаружение иона аммония реактивом Несслера. Для проведения реакции обнаружения ионов аммония к 1—2 мл реактива добавьте одну—две капли очень разбавленного раствора соли аммония. Что наблюдаете?

Напишите уравнения реакций.

1. Какие соединения ртути(I) устойчивы к диспропорционированию согласно диаграмме Латимера?
2. При каких условиях при растворении ртути в азотной кислоте можно получить нитрат ртути(I), а при каких — нитрат ртути(II)?
3. Сравните реакции гидролиза и аммонолиза соли ртути(II). Как получить аммиакат хлорида ртути(II)?
4. Какие бывают амидные соединения ртути(II)? Приведите их строение и условия получения.
5. В чем можно растворить сульфид ртути?

30.3. Синтезы по теме «Цинк, кадмий»

Получение гексагидрата двойной соли сульфатов калия и цинка из отходов

а
й

Отработанный раствор из аппарата Киппа после получения водорода действием серной кислоты на металлический цинк перенесите в стакан и взвесьте. Рассчитайте содержание сульфата цинка в растворе в предположении, что раствор насыщенный. Приготовьте эквимольное количество (1 : 1) насыщенного при 60 °С раствора сульфата калия (или сульфата аммония). Нагрейте раствор сульфата цинка и добавьте к нему раствор сульфата калия. Смесь охладите, выпавшие кристаллы отфильтруйте. Полученные кристаллы перекристаллизуйте из минимального количества воды, взвесьте и рассчитайте выход в процентах. Напишите уравнение реакции.

Несколько кристаллов полученного соединения растворите в воде и определите значение рН раствора универсальной индикаторной бумагой.

Смешанные оксиды цинка и кобальта (Ринманова зелень)

Приготовьте по 5 мл растворов солей цинка и кобальта, содержащих цинк и кобальт в мольных соотношениях 10 : 1 или 19 : 1. Полученные растворы слейте и при постоянном перемешивании добавьте раствор оксалата аммония или калия до полноты осаждения. Полученный осадок отфильтруйте, промойте водой и высушите. Полученную смесь прокалите в фарфоровом тигле в пламени паяльной горелки. Какого цвета получился смешанный оксид? Напишите уравнения реакций.

Иодид кадмия

Получите свежесаженный кадмий методом вытеснения его из раствора соли цинком. Для этого растворите рассчитанное количество соли кадмия, взятое с небольшим избытком (~20 %), в воде и внесите в полученный раствор не-

сколько гранул цинка. По завершении выделения кадмия отделите его от непрореагировавшего цинка и несколько раз промойте водой.

Соберите прибор для кипячения с обратным холодильником (см. рис. 102), в колбу налейте 20 мл воды, внесите 1,0—1,5 г кадмия и рассчитанное количество мелко растертого иода в 10%-ном избытке. В раствор добавьте несколько капель органического растворителя (бензола или тетраоксида углерода), чтобы возгоняющийся иод не конденсировался в холодильнике. Реакционную смесь кипятите до полного растворения кадмия. Затем снимите обратный холодильник и прокипятите содержимое колбы до удаления иода (*в вытяжном шкафу!*). Прозрачный раствор упарьте в фарфоровой чашке на водяной бане до появления кристаллической пленки и охладите. Выпавшие кристаллы отфильтруйте на воронке со стеклянным фильтрующим дном, высушите на воздухе, взвесьте и рассчитайте выход в процентах. Напишите уравнения реакций. Докажите наличие в кристаллах кадмия и иода.

Карбонат кадмия

К раствору 1,8 г хлорида кадмия в воде быстро прилейте раствор карбоната аммония с 10%-ным избытком. Выпавший осадок растворите в концентрированном растворе аммиака. Полученный прозрачный раствор перенесите в фарфоровую чашку и упарьте на водяной бане до образования кристаллов. Раствор охладите, а кристаллы отфильтруйте на стеклянном пористом фильтре. Вещество высушите в сушильном шкафу при 60 °С, перенесите в бюкс, взвесьте и рассчитайте выход в процентах. Напишите уравнения реакций. Докажите, что полученное вещество — карбонат кадмия.

Получение пленки сульфида кадмия

Приготовьте в химическом стакане 20 мл 10%-ного раствора соли кадмия. Добавьте концентрированный раствор аммиака до полного растворения выпавшего вначале осадка. В раствор внесите 0,5 г тиомочевины и перемешайте. Поместите в стакан тщательно вымытое предметное стекло и грейте раствор на горелке 10—15 мин. Выньте предметное стекло из раствора. Что произошло? Стекло промойте водой, высушите и рассмотрите под микроскопом. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

Охладите раствор, осадок отфильтруйте на бумажном фильтре, промойте водой, высушите и взвесьте. Рассчитайте выход в процентах. Выпавшие кристаллы рассмотрите под микроскопом.

ГЛАВА 31

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ

31.1. Фазовая диаграмма системы «вода—нитрат калия»

Соберите прибор для определения температуры замерзания растворов (рис. 112). Приготовьте по 20 мл растворов нитрата калия концентраций 5, 10, 15 и 20 %. Приготовьте охлаждающую смесь хлорида натрия со льдом и поместите ее в стакан 1 прибора, пробирку 2 — в охлаждающую смесь и закрепите в штативе. Установите термометр 4 с ценой деления $0,1^{\circ}\text{C}$, чтобы он не доставал до дна пробирки на $0,5-1$ см. В пробирку 2 налейте раствор нитрата калия до уровня, на $2-3$ см превышающего положение ртутного шарика термометра.

Следите за изменением температуры, постоянно перемешивая раствор проволочной мешалкой 3 и отмечая показания термометра каждые $10-30$ с в зависимости от скорости охлаждения.

Измерения продолжайте до достижения температуры $<-5^{\circ}\text{C}$. Затем выньте пробирку с раствором и термометром из охлаждающей смеси, поместите в стакан с водой комнатной температуры и отмечайте повышение температуры каждые $10-30$ с. Постройте кривые охлаждения и нагревания в координатах «температура — время». Прделайте опыты для всех приготовленных растворов нитрата калия.

Повторите аналогичный опыт с чистой водой и определите температуру ее замерзания.

Из полученных кривых охлаждения и нагревания определите температуры начала кристаллизации и температуры криогидратной точки для каждого из составов. Данные занесите в табл. 20 и постройте участок фазовой диаграммы системы «вода—нитрат калия» в координатах «состав — температура».

Что называется температурой замерзания раствора? Что называется эвтектической (криогидратной) точкой? Каково число фаз и степеней свободы в системе

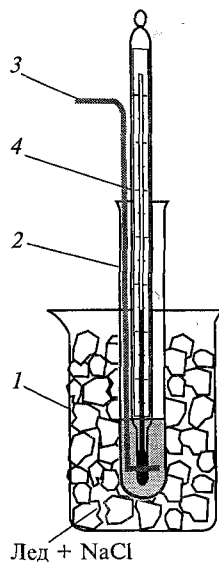


Рис. 112. Прибор для определения температуры замерзания растворов:

1 — стакан; 2 — пробирка; 3 — проволочная мешалка; 4 — термометр

**Температуры тепловых эффектов на кривых охлаждения (А) и нагревания (Б)
раствора нитрата калия**

KNO ₃ , масс.%	Температура начала кристаллизации (при нагревании — исчезновения кристаллов)		Температура эвтектики (криогидратная точка)	
	А	Б	А	Б
0				
5				
10				
15				
20				

при температуре замерзания в эвтектической точке? Чем объясняется снижение, повышение, постоянство и вновь снижение температуры при охлаждении воды? При какой температуре замерзла вода?

31.2. Гидролиз солей алюминия

Приготовьте в мерной колбе 100 мл 0,2 М раствора алюминиокалиевых квасцов (см. подразд. 3.3).

Перенесите мерной пипеткой 50 мл раствора в другую мерную колбу емкостью 100 мл и приготовьте методом последовательного разбавления (см. подразд. 3.3) растворы с концентраций 0,1; 0,05; 0,025 и 0,0125 М. Полученные растворы перенесите в сухие пронумерованные стаканы. Измерьте рН растворов (см. подразд. 8.2), начиная с дистиллированной воды, а затем (в порядке возрастания) концентрации приготовленных растворов. Результаты измерений занесите в табл. 21.

Напишите уравнение гидролиза. Из полученных значений рН определите концентрацию водородных ионов $C_{H_3O^+}$ и рассчитайте степень гидролиза α и константу гидролиза K_r для каждого раствора в приближении равенства актив-

Таблица 21

Зависимость степени гидролиза (α) солей алюминия от концентрации раствора С

Опыт	С, моль/л	lg С	рН	$C_{H_3O^+}^*$	α^*	Константа*			
						гидролиза		дисс. Al(OH) ₃ по третьей ступени	
						K_r	pK_r	K_{b3}	pK_{b3}
№ 1									
№ 2									

* Расчетные значения.

частей участвующих в равновесии соединений и ионов их концентрациям. Результаты расчетов внесите в табл. 21. Сравните полученное значение K_r с рассчитанным из справочных данных. Сравните рассчитанное значение K_{b3} со справочной величиной. Постройте график зависимости $\lg \alpha$ от $\lg C$. Как изменяется степень гидролиза при уменьшении концентрации раствора? Напишите уравнение протолитического равновесия.

31.3. Кинетика каталитического окисления тиосульфата натрия пероксидом водорода

При окислении тиосульфата натрия пероксидом водорода возможно образование разных продуктов реакции в зависимости от типа катализатора. В данной задаче предлагается определить направление реакции и ее порядок по тиосульфату при катализе молибдат- и иодид-ионами. Пероксид водорода берется в избытке.

Приготовление исходных растворов.

1. Приготовьте в мерной колбе $\sim 0,1$ М раствор пероксида водорода разбавлением его концентрированного раствора (см. подразд. 3.3). Раствор тщательно перемешайте.

Возьмите мерной пипеткой 5,0 мл 0,1 М раствора пероксида водорода и перенесите его в коническую колбу с 20—25 мл 0,1 М соляной кислоты и 5 мл 1 М иодида калия. Добавьте в раствор две—три капли 0,2 М раствора молибдата натрия. Выделившийся иод оттитруйте (см. подразд. 31.4) стандартным 0,05 н. раствором тиосульфата натрия до получения светло-желтого окрашивания раствора; после добавления двух—трех капель раствора крахмала оттитруйте дальше синий раствор до обесцвечивания. Рассчитайте концентрацию пероксида водорода.

2. Приготовление 0,05 н. раствор тиосульфата натрия для иодометрического титрования из фиксанала описано в подразд. 3.3. Совпадает ли численно нормальность этого раствора по иоду с его молярностью?

Каталитическое окисление тиосульфат-иона натрия пероксидом водорода в присутствии молибдат-иона. В коническую колбу с помощью мерной пипетки с делениями внесите 2 мл 0,1 М раствора тиосульфата натрия, добавьте дистиллированную воду до общего объема раствора 5 мл, четыре капли 0,2 М молибдата натрия и три капли метилоранжа. Быстро прилейте при перемешивании 25 мл 0,1 М раствора пероксида водорода и отметьте время изменения окраски индикатора.

В результате прохождения реакции понижается рН раствора и уменьшаются концентрации исходных реагентов. Повышение кислотности среды препятствует окислению тиосульфата натрия пероксидом водорода в присутствии молибдата. Реакция может идти дальше, если нейтрализовать выделяющуюся кислоту щелочью. При нейтрализации небольшими порциями щелочи реакция каждый раз начинается вновь, только с меньшими концентрациями исходных реагентов. Таким способом может быть получена экспериментальная зависимость скорости реакции от концентрации реагирующих веществ.

Для получения такой зависимости добавьте 1 мл 0,1 М раствора гидроксида натрия. При повышении рН среды реакция начинается вновь, только концентрации исходных реагентов будут несколько ниже, чем в предыдущем опыте.

Отметьте время изменения окраски индикатора, вновь добавьте 1 мл щелочи и зафиксируйте время изменения окраски индикатора. Щелочь добавляйте порциями по 1 мл до полного взаимодействия всего тиосульфата натрия с избытком пероксида водорода (прекращения изменения окраски индикатора). Полученные результаты занесите в табл. 22.

По завершении всей серии экспериментов определите количество оставшегося пероксида водорода методом иодометрического титрования (см. подразд. 31.4). На основании данных иодометрического титрования найдите стехиометрические коэффициенты реагентов в реакции окисления тиосульфата натрия пероксидом водорода в присутствии молибдат-иона и напишите уравнение этой реакции.

Рассчитайте концентрации тиосульфата натрия, которые были в растворе перед каждым новым измерением скорости реакции (перед добавлением очередной порции 0,1 М раствора гидроксида натрия). Результаты расчетов внесите в табл. 22.

Постройте график зависимости $\lg(1/t)$ от логарифма концентрации тиосульфата натрия и определите порядок реакции по тиосульфат-иону. Аналогичные опыты проведите с растворами другого состава с увеличивающейся концентрацией тиосульфата натрия (3 и 4 мл) согласно табл. 22.

Каталитическое окисление тиосульфат-иона пероксидом водорода в присутствии иодид-иона. Мерной пипеткой с делениями внесите в коническую колбочку 5 мл 0,1 М раствора тиосульфата натрия, разбавьте дистиллированной водой до общего объема раствора 10 мл, добавьте 5 мл 1 М раствора иодида калия и три капли раствора фенолфталеина. Быстро прилейте при перемешивании

Таблица 22

**Взаимодействие тиосульфат-иона с пероксидом водорода
в присутствии молибдат-иона**

Объем, мл				Концентрация $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ в растворе (расчет)		Время появления окраски		Иодометрическое титрование избытка H_2O_2 после реакции, мл	
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	H_2O	H_2O_2	NaOH	C, моль/л	$\lg C$	t, с	$1/t, \text{c}^{-1}$	объем $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	избыток H_2O_2
2	3	25	0						
			1						
			...						
3	2	25	0						
			1						
			...						
4	1	25	0						
			1						
			...						

Взаимодействие тиосульфат-иона с пероксидом водорода в присутствии иодид-иона

Объем, мл				Концентрация $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ в растворе (расчет)		Время появления окраски		Иодометрическое титрование избытка H_2O_2 после реакции, мл	
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	H_2O	H_2O_2	HCl	C , моль/л	$\lg C$	t , с	$1/t$, c^{-1}	объем $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	избыток H_2O_2
5	5	10	0						
			1						
			...						
6	4	10	0						
			1						
			...						
7	3	10	0						
			1						
			...						

вании 10 мл 0,1 М раствора пероксида водорода и отметьте время появления окраски индикатора. При окислении тиосульфата натрия пероксидом водорода в присутствии иодид-ионов, в отличие от катализа молибдат-ионами, рН среды повышается. Повышение рН среды препятствует окислению тиосульфата натрия пероксидом водорода в присутствии иодид-иона. Для возобновления реакции необходимо нейтрализовать образующуюся щелочь кислотой.

В этом случае после появления окраски индикатора добавьте 1 мл 0,1 М раствора соляной кислоты, отметьте время появления окраски, вновь добавьте 1 мл соляной кислоты и фиксируйте время появления окраски индикатора после внесения очередной порции кислоты. Всего добавьте 7 мл 0,1 М раствора соляной кислоты порциями по 1 мл. Результаты опытов занесите в табл. 23.

После эксперимента добавьте в каждую колбу по 10 мл раствора 0,1 М соляной кислоты и оттитруйте выделившийся иод 0,1 н. раствором тиосульфата натрия для определения избытка пероксида водорода. На основании данных иодометрического титрования определите стехиометрические коэффициенты реагентов в реакции окисления тиосульфата натрия пероксидом водорода в присутствии иодид-ионов и напишите уравнение этой реакции. Рассчитайте концентрации тиосульфата натрия, которые были в растворе перед каждым новым измерением скорости реакции (перед добавлением очередной порции 0,1 М раствора соляной кислоты). Результаты расчетов занесите в табл. 23.

Постройте график зависимости $\lg(1/t)$ от логарифма концентрации тиосульфата натрия и определите порядок реакции по тиосульфат-иону. Аналогичные опыты проведите с растворами другого состава при увеличении объема тиосульфата натрия с 6 до 7 мл.

31.4. Иодометрическое титрование*

В мерной колбе емкостью 50 мл растворите 0,12 г дихромата калия, взвешенного с точностью не менее $\pm 0,01$ г, и отберите мерной пипеткой (пипеткой Мора) в три конические колбочки пробы по 10 мл. К пробам добавьте по 10 мл 1 М раствора серной кислоты и по 10 мл 1 М раствора иодида калия.

Выделившийся в реакции иод сразу оттитруйте точным стандартным (0,05 н.) раствором тиосульфата натрия. К моменту исчезновения окраски иода добавьте в раствор две—три капли раствора крахмала и титруйте до исчезновения синей окраски. Результаты титрования занесите в табл. 24.

Таблица 24

Определение концентрации дихромата калия

Опыт	Объем раствора, мл		Концентрация, н.	
	дихромата калия	тиосульфата натрия	тиосульфата натрия	дихромата калия
№ 1				
№ 2				
№ 3				
Среднее значение:				

Из полученных данных рассчитайте нормальность раствора дихромата калия и массу эквивалента дихромата калия. Напишите уравнения реакций.

Чему равны химические эквиваленты дихромата калия, иода и тиосульфата натрия в этих реакциях? Как рассчитываются химические эквиваленты в окислительно-восстановительных реакциях?

ГЛАВА 32

МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ВЕЩЕСТВ

32.1. Разделение и очистка неорганических соединений методом ионообменной хроматографии

Ионообменная хроматография на катионообменных смолах (катионитах) основана на обратимом обмене подвижных ионов водорода смолы и катионов металлов.

В качестве ионообменной колонки для разделения солей кадмия и меди используют бюретку 2 (рис. 113) емкостью 50 мл с катионообменной смолой:

* Подобная методика применяется для установления титра раствора тиосульфата натрия используемого в качестве вторичного стандарта. Только в этом случае очень точно ($\pm 0,2$ мг берут навеску очищенного дихромата калия.

КУ-23 в водородной форме слоем высотой 25—30 см. Для разделения кадмия и меди ионы водорода ионообменной смолой вначале замещают на ионы металлов, а затем избирательно извлекают в раствор.

(Не сливайте весь раствор из колонки. Смола 4 в бюретке в течение всего опыта должна находиться под слоем жидкости воды) 3 высотой не менее 1 см.)

Разделение солей кадмия и меди

Для проведения опыта приготовьте все необходимые растворы: смесь 10 мл 0,1 М раствора нитрата кадмия и 10 мл 0,1 М раствора сульфата меди, которую предстоит разделить; раствор 2,5 мл глицерина и 2,4 г гидроксида натрия в 50 мл воды, необходимый для извлечения меди из смолы. В стеклянном стакане нагрейте почти до кипения 200 мл дистиллированной воды для промывания колонки.

После проведения подготовительных операций приоткройте кран 5 (см. рис. 113) бюретки 2, определите pH вытекающей из колонки воды. Сливая воду, установите скорость ее протекания через смолу 1 мл/мин. Эта скорость должна сохраняться в течение всего опыта. Когда над смолой останется слой воды 1—2 см, через воронку 1 осторожно прилейте в бюретку 2 смесь растворов солей меди и кадмия и пропустите ее через слой катионита. Ионообменная смола 4 при этом окрашивается в синий цвет. Определите pH раствора на выходе из колонки. После пропускания почти всего раствора (оставьте над смолой слой жидкости 1—2 см), промойте колонку 50 мл горячей воды для удаления кислоты, выделяющейся при ионном обмене. Проверьте полноту поглощения ионов кадмия и меди действием капли сульфида аммония на 2—3 мл промывных вод.

Для разделения катионов пропустите через колонку 25 мл приготовленного ранее щелочного раствора глицерина и соберите раствор в стакан 6. Оставшиеся 25 мл раствора для полноты извлечения меди залейте в колонку, закройте кран 5, плотно заглушите бюретку резиновой пробкой и оставьте на ночь. На другой день выньте пробку, слейте остаток раствора (оставив слой 1—2 см) через кран бюретки и промойте смолу горячей водой до pH = 7,5. Действием раствора сульфида аммония на промывные воды убедитесь в полноте извлечения ионов меди.

Пропустите через колонку 5%-ный раствор соляной кислоты для вымывания кадмия в виде хлорида. Периодически проверяйте наличие ионов кадмия в вытекающем из колонки растворе с помощью сульфида аммония.

После опыта промойте смолу раствором соляной кислоты (1 : 3), затем водой до нейтральной реакции промывных вод и оставьте под слоем воды.

Добавьте к раствору глицерокупрата натрия раствор сульфида натрия, а к раствору хлорида кадмия раствор сульфида аммония до полного осаждения сульфидов меди и кадмия (добавление последующей капли раствора сульфида не должно вызывать выпадения осадка). Нагрейте полученные мутные растворы в стаканах через асбестовую сетку до полной коагуляции осадков сульфи-

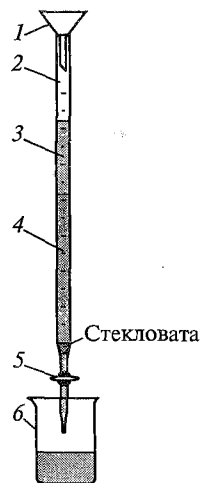


Рис. 113. Хромотографическая колонка:

1 — воронка; 2 — бюретка; 3 — раствор (вода); 4 — ионообменная смола КУ-23; 5 — кран; 6 — стакан

дов. Отфильтруйте выпавшие сульфиды на воронке Бюхнера с предварительно взвешенным двойным бумажным фильтром (синяя лента). Поместите фильтры с осадками на часовые стекла и высушите в сушильном шкафу при 60 °С, затем взвесьте и определите выходы по меди и кадмию в процентах по отношению к количествам металлов в исходной смеси.

Разделение солей цинка и железа

Приготовьте исходный раствор: смесь 10 мл 0,05 М раствора хлорида цинка и 10 мл 0,1 М раствора хлорида железа(III), которую предстоит разделить. Пропустите этот раствор через ионообменную колонку со скоростью 1 мл/мин, затем промойте смолу 20 мл воды. Для извлечения ионов цинка пропустите через смолу 50 мл 10%-ного раствора гидроксида натрия. Вытекающий из колонки раствор соберите в колбу.

Проверьте полноту извлечения катионов цинка из катионита, для этого возьмите каплю раствора, вытекающего из колонки, добавьте две капли 4 М раствора соляной кислоты и каплю раствора гексацианоферрата(II) калия. В присутствии ионов цинка выпадает белый осадок гексацианоферрата(II) цинка. По извлечении всего цинка промойте смолу 20 мл воды. Промывные воды не собирайте.

Для извлечения ионов железа(III) пропустите через катионит 10 мл горячего 2 М раствора соляной кислоты. Вытекающий раствор соберите в колбу. Проверьте полноту извлечения железа(III) по реакции с гексацианоферратом(II) калия или роданидом аммония.

Раствор цинката натрия упарьте до ~20 мл, затем добавьте к нему раствор сульфида натрия до полного осаждения сульфида цинка. Выпавший осадок отфильтруйте на стеклянном пористом фильтре и промойте небольшим количеством воды (7—10 мл), затем высушите при 60 °С.

Раствор хлорида железа(III) перенесите в фарфоровую чашку и упарьте до начала кристаллизации. Охладите чашку с кристаллами до 0 °С. Выпавшие кристаллы отделите на стеклянном пористом фильтре.

Полученные вещества взвесьте и рассчитайте выход в процентах.

32.2. Получение и очистка иода

Для получения иода используется окислительно-восстановительная реакция взаимодействия иодида калия с сульфатом меди. Иод из осадка отгоняют с водяным паром с последующей очисткой методом сублимации в вакууме.

Получение иода. Приготовьте растворы 4,0 г иодида калия в 10 мл воды и 3,0 г пентагидрата сульфата меди в 10 мл воды. Растворы слейте в пластмассовую пробирку для центрифугирования. Для промывания осадка приготовьте 20 мл 20%-ного раствора иодида калия в воде. Пластмассовую пробирку поместите в центрифугу и отделите выпавший осадок центрифугированием в течение 5 мин при скорости вращения ротора 5000 об/мин. Слейте раствор с осадка в стеклянный стакан, к осадку прилейте 20 мл ранее приготовленного раствора иодида калия. Перемешайте осадок с раствором стеклянной палочкой и еще раз отцентрифугируйте. Полученные растворы объедините.

Отгонка иода с водяным паром. Соберите прибор (рис. 114). Раствор полииодидов калия поместите в барботер 2. Откройте винтовой зажим 3. Нагрейте

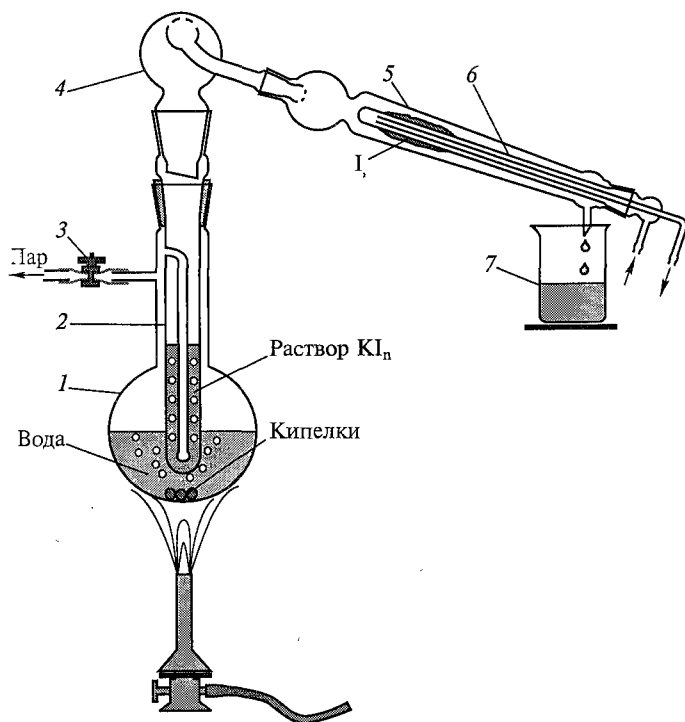


Рис. 114. Прибор для отгонки иода с водяным паром:

1 — колба Вюрца; 2 — барботер; 3 — винтовой зажим; 4 — каплеотбойник; 5 — рубашка холодильника; 6 — пальчиковый холодильник; 7 — стакан

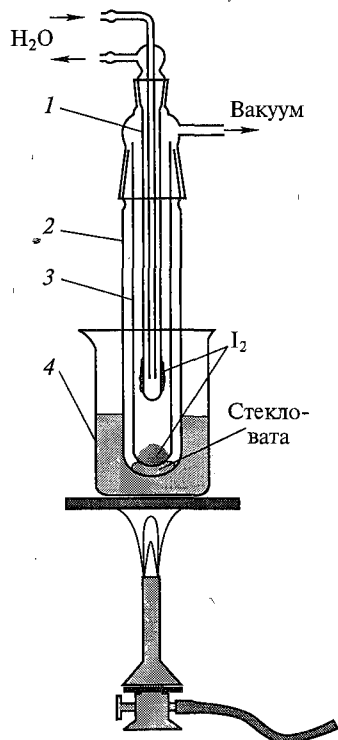


Рис. 115. Прибор для сублимации иода в вакууме:

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

до кипения воду в колбе Вюрца 1 открытым пламенем горелки. Отрегулируйте скорость пропускания пара через раствор в барботере 2. Для этого постепенно закройте винтовой зажим 3 и уменьшите пламя горелки. Раствор полииодидов должен равномерно «кипеть» без перебрасывания в холодильник, а иод конденсироваться на пальчиковом холодильнике 6. Отгонку ведите до обесцвечивания паров внутри прибора. Иод, сконденсировавшийся на внутренних стенках рубашки холодильника 5, осторожно возгоните на пальчиковый холодильник 6, нагревая места его конденсации слабым пламенем горелки.

По завершении отгонки откройте винтовой зажим 3 на отводе колбы и выключите горелку. Извлеките пальчиковый холодильник с иодом, с помощью стеклянной палочки снимите возогнанный иод с холодильника на часовое стекло (*наденьте защитные очки и перчатки!*) и поместите в эксикатор над концентрированной серной кислотой. Оставьте на ночь. Осушенный иод перенесите в заранее взвешенный бюкс, взвесьте и определите выход в процентах по отношению к взятому количеству сульфата меди.

Очистка иода сублимацией в вакууме. Соберите прибор для сублимации в вакууме (рис. 115). Шлифы смажьте вакуумной смазкой. Полученный иод поместите в пробирку-вкладыш 3 реактора 2. Подайте воду в пальчиковый

холодильник 1 и включите водоструйный насос (*наденьте защитные очки!*). Нагрейте реактор 2 на водяной бане 4. После возгонки иода прекратите нагревание, охладите прибор до комнатной температуры и выключите водоструйный насос. Сублимированный иод перенесите в бюкс и взвесьте. Рассчитайте выход в процентах по отношению к взятому для сублимации количеству иода.

Рассмотрите кристаллы иода (без микроскопа!) и зарисуйте их.

32.3. Очистка твердых веществ возгонкой (испарением) в токе газа

Очистка иодида аммония возгонкой в токе аммиака

Соберите в вытяжном шкафу прибор (рис. 116). Кварцевый реактор 5 закрепите в штативе таким образом, чтобы его корпус не касался стенок трубчатой печи 6. Выход контейнера 7 с очищенным веществом должен находиться внутри трубки-вкладыша 9, а газоподводящая трубка 8 доходить почти до дна контейнера. В колбу Вюрца 1 поместите твердый гидроксид натрия не менее $\frac{1}{3}$ объема колбы (*наденьте защитные очки и перчатки!*). В капельную воронку 2 налейте концентрированный раствор аммиака. Промывалки 3, 12 (счетчики пузырьков) заполните вазелиновым маслом, а осушительные колонки 4 — твердым гидроксидом калия.

В контейнер 7 прибора для сублимации поместите 1,0 г иодида аммония. Надвиньте на реактор 5 трубчатую печь 6. Медленно приоткройте кран капель-

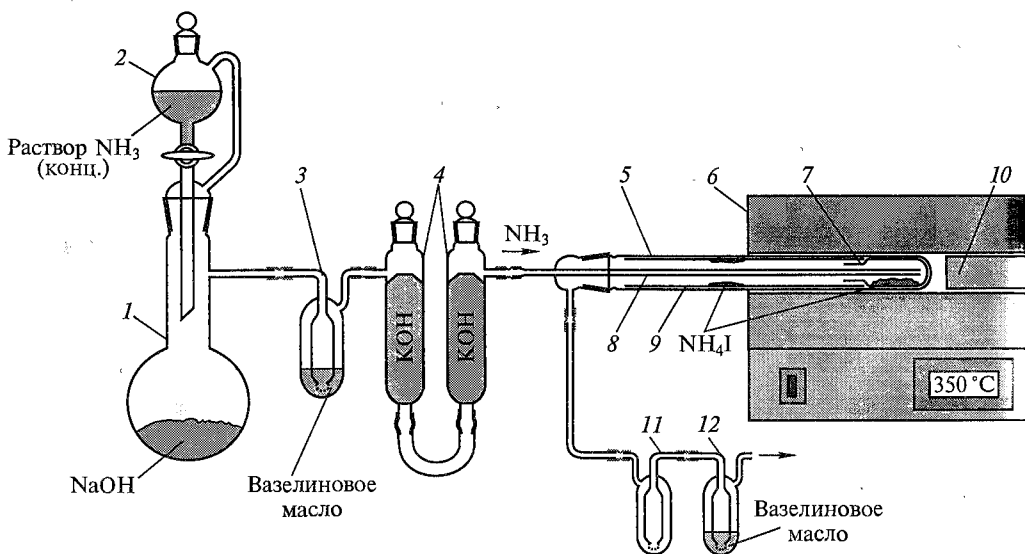


Рис. 116. Прибор для сублимации иодида аммония в токе аммиака:

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3, 12 — промывалки-счетчики пузырьков; 4 — осушительные колонки; 5 — кварцевый реактор; 6 — трубчатая печь; 7 — контейнер с очищаемым веществом; 8 — газоподводящая трубка; 9 — трубка-вкладыш; 10 — шамотовая пробка; 11 — предохранительная промывалка

ной воронки 2 и, добавляя по каплям раствор аммиака к твердой щелочи, заполните прибор газообразным аммиаком.

Установите скорость потока аммиака 1—2 пузырька в секунду. Включите печь 6, повысьте температуру до 200 °С и просушите иодид аммония при этой температуре 15 мин. Затем повысьте температуру печи до 350 °С и проведите возгонку иодида аммония. Закончите возгонку, когда в контейнере останется примерно 5—10 % вещества. Выключите печь и сдвиньте ее с реактора, не прекращая ток аммиака.

После охлаждения реактора до комнатной температуры отсоедините прибор для получения аммиака. Извлеките трубку-вкладыш 9 из реактора, перенесите очищенный иодид аммония во взвешенный бюкс и взвесьте. Рассчитайте выход в процентах.

Очистка тетраиодида олова и трииодида сурьмы возгонкой (испарением) в токе газа

Для возгонки (испарения) тетраиодида олова и трииодида сурьмы в токе газа соберите прибор (рис. 117). В качестве газа-носителя можно использовать углекислый газ, азот или аргон. Для этого наполните из баллона «кислородную» подушку соответствующим газом и присоедините к промывалке-счетчику пузырьков 1. Сушительные колонки 2 заполните гранулированным хлоридом кальция.

Поместите 0,5 г очищаемого вещества в контейнер 5 ровным слоем и поместите в кварцевый реактор 3. Газоподводящая трубка 6 должна доходить до самого дна контейнера 5 с очищаемым веществом. Нагрейте вещество в трубчатой печи 4 в токе газа-носителя до $t = 180$ °С для трииодида сурьмы или до $t = 150$ °С для тетраиодида олова. После возгонки почти всего количества исходного вещества сдвиньте печь и охладите реактор в токе газа. Выньте из реакто-

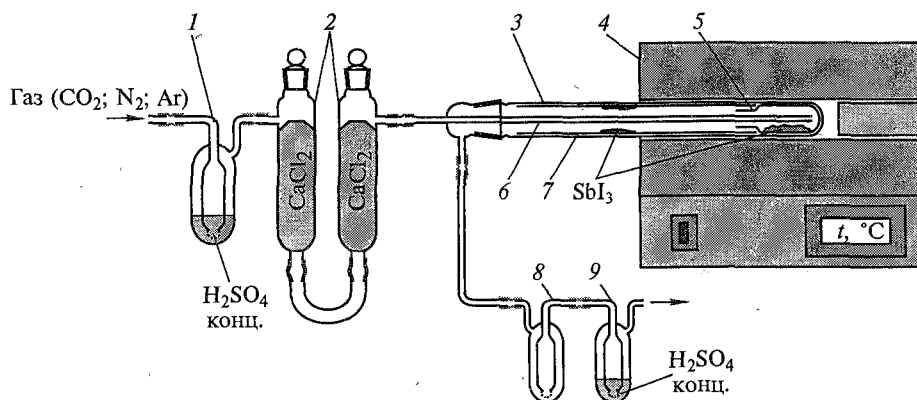


Рис. 117. Прибор для очистки в токе газа:

1, 9 — промывалки-счетчики пузырьков; 2 — сушительные колонки; 3 — кварцевый реактор; 4 — трубчатая печь; 5 — контейнер с очищаемым веществом; 6 — газоподводящая трубка; 7 — трубка-вкладыш; 8 — предохранительная промывалка

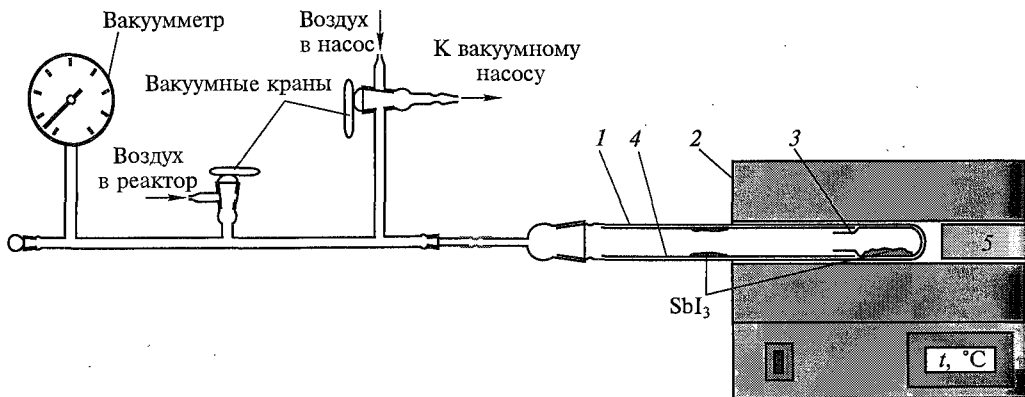


Рис. 118. Установка для сублимации (возгонки) веществ в вакууме:

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

ра трубку-вкладыш 7 и перенесите возогнанное вещество во взвешенный бюкс. взвесьте и рассчитайте выход в процентах.

32.4. Очистка трииодида сурьмы и тетраиодида олова возгонкой (сублимацией) в вакууме

Соберите прибор для сублимации в вакууме (рис. 118). В контейнер 3 поместите 0,5 г трииодида сурьмы (тетраиодида олова) и равномерно распределите его внутри контейнера. Выход контейнера 3 должен находиться внутри трубки-вкладыша 4. Реактор 1 закрепите в лапке штатива так, чтобы он не касался стенок трубчатой печи 2.

Включите вакуумную установку (в защитных очках и под наблюдением преподавателя!) и откачайте воздух из реактора 1. Включите трубчатую печь 2, нагрейте ее до $t = 165^\circ\text{C}$ для возгонки трииодида сурьмы или до $t = 140^\circ\text{C}$ для возгонки тетраиодида олова и выдержите при этой температуре 30 мин. Затем отключите печь 2 и сдвиньте ее с реактора 1. После охлаждения реактора до комнатной температуры отключите насос и запустите воздух в реактор.

Извлеките трубку-вкладыш 4 из реактора 1. Перенесите сублимированное вещество в заранее взвешенный бюкс, взвесьте и определите выход в процентах.

Небольшое количество вещества внесите в пробирку с водой. Определите рН раствора. Напишите уравнение реакции.

ГЛАВА 33

ГАЛОГЕНЫ

33.1. Получение хлорида кобальта(II) хлорированием металла

Соберите в вытяжном шкафу прибор (рис. 119). В колбу Вюрца 1 поместите 30 г предварительно растертого перманганата калия и смочите его небольшим количеством воды, в капельную воронку 2 налейте концентрированную соля-

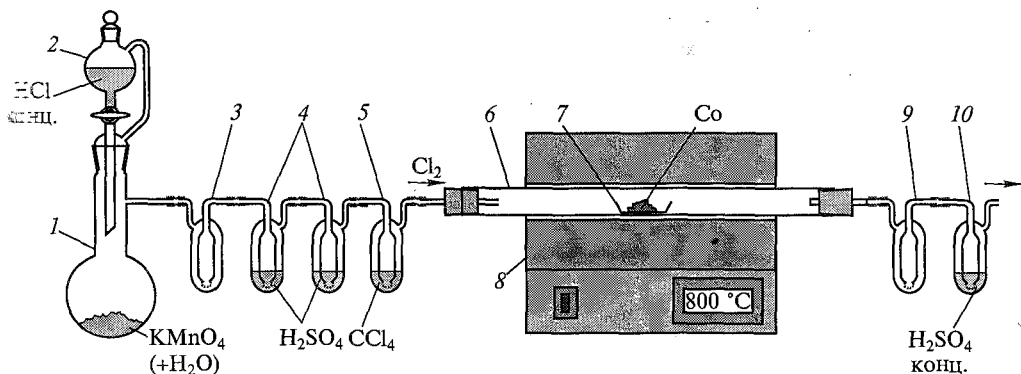


Рис. 119. Прибор для получения хлорида кобальта:

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3, 9 — предохранительные промывалки; 4, 10 — промывалки с H_2SO_4 (конц.); 5 — промывалка с CCl_4 ; 6 — реактор; 7 — лодочка; 8 — трубчатая печь

ную кислоту. Заполните промывалки 4 и 10 концентрированной серной кислотой, а промывалку 5 — сухим тетрахлоридом углерода.

Поместите в лодочку 7 (фарфоровую или кварцевую) 0,3 г порошка кобальта и внесите ее в кварцевый реактор 6. Лодочка должна находиться в центральной части печи. Медленно приоткройте кран капельной воронки 2 и, добавляя по каплям концентрированную соляную кислоту к перманганату калия, пропустите ток хлора через реактор 6. После вытеснения воздуха из прибора сухим хлором включите трубчатую печь 8 и повысьте температуру в печи до 800°C . Ток хлора отрегулируйте по скорости пробульживания через промывалку 10 (1—2 пузырька в секунду). Хлорирование ведите 1 ч. По завершении синтеза отключите печь и охладите вещество в токе хлора. Полученный хлорид кобальта(II) перенесите в заранее взвешенный бюкс, взвесьте и определите выход в процентах. Рассмотрите полученные кристаллы под микроскопом, отметьте цвет и форму кристаллов. Часть кристаллов оставьте на воздухе. Как изменяется их окраска? Напишите уравнения реакций.

33.2. Хлорид хрома(III)

Соберите в вытяжном шкафу прибор (рис. 120). В колбу Вюрца 1 поместите 30 г мелко растертого перманганата калия и смочите его небольшим количеством воды, в капельную воронку 2 налейте концентрированную соляную кислоту. Заполните промывалки 4 и 9 концентрированной серной кислотой, предохранительные промывалки 3 и 8 оставьте пустыми.

Поместите 0,3 г порошка хрома без лодочки в реактор 5. Медленно приоткройте кран капельной воронки 2 и, добавляя по каплям концентрированную соляную кислоту к перманганату калия, пропустите ток хлора через реактор 5. Вытесните воздух из реактора током сухого хлора, включите печь 6 и повысьте температуру до $830-850^\circ\text{C}$. Поток хлора установите по скорости пробульживания через промывалку 9 (один—два пузырька в секунду). Хлорирование ведите 1 ч. Затем отключите печь и охладите реактор в токе хлора. Перенесите синтези-

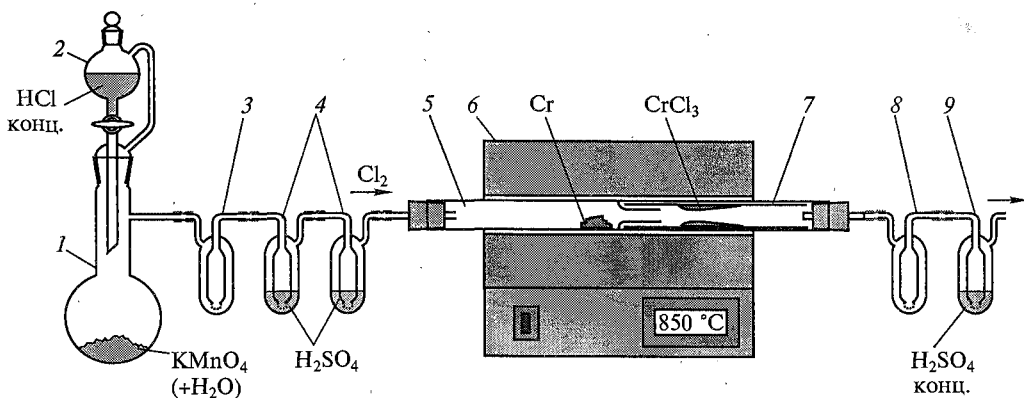


Рис. 120. Прибор для получения хлорида хрома(III):

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3, 8 — предохранительные промывалки; 4, 9 — промывалки с серной кислотой (конц.); 5 — реактор; 6 — трубчатая печь; 7 — вкладыш

рованный хлорид хрома(III) в заранее взвешенный бюкс, взвесьте и определите выход в процентах. Рассмотрите полученные кристаллы под микроскопом, отметьте цвет и форму кристаллов. Несколько кристаллов поместите в пробирку с водой. Что наблюдаете?

33.3. Получение безводного хлорида марганца (кобальта, никеля) в среде абсолютного спирта

Соберите в вытяжном шкафу прибор (рис. 121). В колбу Вюрца 1 поместите 20 г хлорида натрия, смочите его 3—5 мл концентрированной соляной кислоты. В капельную воронку 2 налейте 35 мл концентрированной серной кислоты.

В двугорлую колбу 7 поместите 0,2—0,3 г порошка марганца (кобальта, никеля) и прилейте к нему 15 мл абсолютного этанола. Охладите колбу 7 в бане со льдом 11. Осторожно приоткройте кран капельной воронки 2 и медленно, по каплям, добавляйте в колбу 1 серную кислоту. Хлороводород должен пробульживать через все промывалки. Ток газа должен быть достаточно интенсивным. Поток газа отрегулируйте по скорости пробульживания один—два пузырька в секунду через промывалку 10. Поскольку хлороводород поглощается спиртом, то скорость потока на выходе из колбы будет меньше, чем на входе. Насыщение этанола хлороводородом ведите 1—1,5 ч. Отметьте изменение окраски раствора.

После насыщения спирта хлороводородом выньте газоподводящую трубку 6 и закройте горло колбы 7 стеклянной пробкой 13. Отсоедините промывалки 9 (предохранительную) и 10, а холодильник закройте хлоркальциевой трубкой 12. Снимите охлаждение. Колбу с реакционной смесью оставьте на ночь. Если металл за ночь полностью не прореагирует, то для ускорения реакции можно подогреть раствор в колбе на водяной бане.

Соберите прибор для отгонки этанола в вакууме (рис. 122). Смажьте шлифы (только керны) вакуумной смазкой, шлиф реактора 1 смажьте снизу на $\frac{1}{2}$

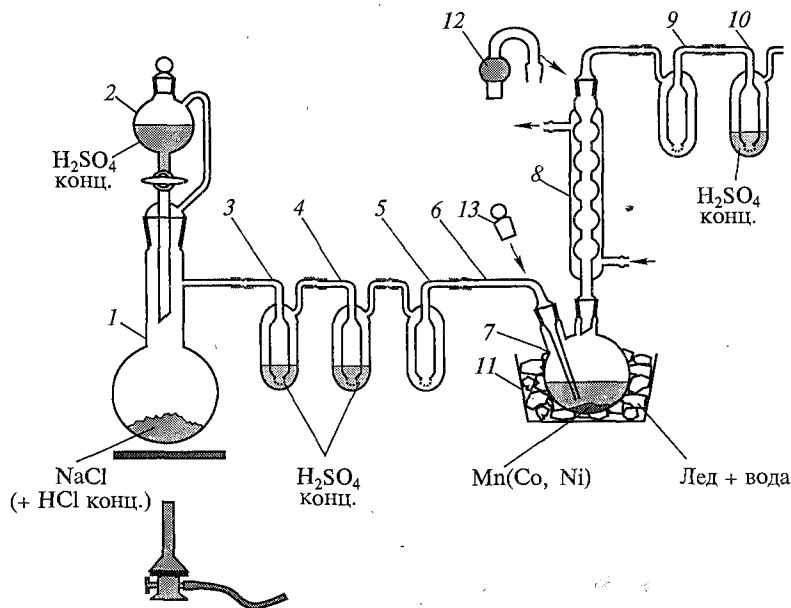


Рис. 121. Прибор для получения хлорида марганца (кобальта, никеля) в абсолютированном спирте:

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3, 4, 10 — промывалки с H_2SO_4 (конц.); 5, 9 — предохранительные промывалки; 6 — газоподводящая трубка; 7 — колба двугорлая; 8 — шариковый холодильник; 11 — баня со льдом и водой; 12 — хлоркальциевая трубка; 13 — пробка стеклянная

высоты. Вставьте керны в муфты, поворачивая их вокруг оси. Правильно смазанный шлиф должен быть прозрачным, а вакуумная смазка — не выступать из зазора.

Перелейте полученный раствор в реактор 1 прибора для вакуумной отгонки растворителя. Реактор 1 поместите в стакан 4 с водой, а приемник 3 в баню со льдом 5. Присоедините прибор к водоструйному насосу, включите насос, оставив открытым кран 6. Нагрейте воду в стакане до кипения и отгоните большую часть растворителя через соединительную трубку 2 при атмосферном давлении. Затем отгоните остатки растворителя при пониженном давлении. Давление снижайте постепенно, медленно закрывая кран 6. При снижении давления следите за интенсивностью кипения раствора, не допуская его разбрызгивания и перебрасывания в приемник 3. Если кипение жидкости становится слишком интенсивным, то сделайте небольшую остановку до нормализации режима кипения или повысьте давление. После полной отгонки растворителя уберите стакан с водой и при необходимости десольватируйте продукт до конца осторожным нагреванием реактора слабым, лижущим пламенем горелки. Охладите прибор в вакууме водоструйного насоса до комнатной температуры. Откройте кран 6 и выключите насос.

Перенесите вещество во взвешенный бюкс, взвесьте и определите выход в процентах по отношению к взятому количеству металла. Небольшое количе-

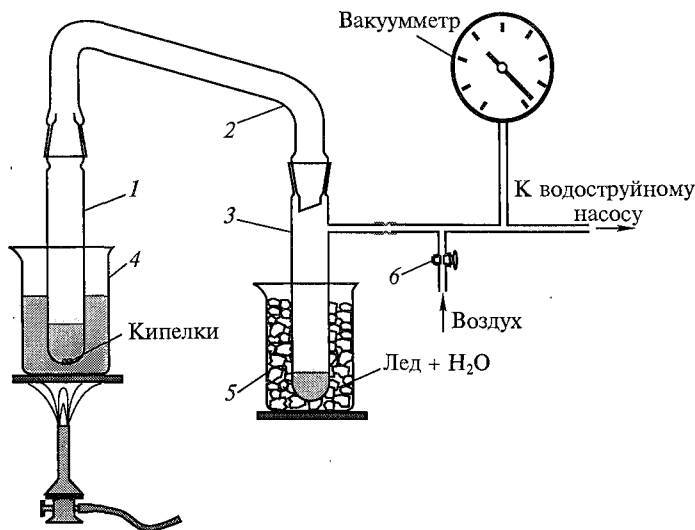


Рис. 122. Прибор для отгонки растворителя в вакууме:

1 — реактор; 2 — соединительная трубка; 3 — приемник; 4 — водяная баня; 5 — баня со льдом и водой; 6 — кран

ство вещества растворите в воде и определите рН раствора. Напишите уравнение реакции.

33.4. Трихлорид иода

Соберите в вытяжном шкафу прибор (рис. 123). В колбу Вюрца 1 поместите 15 г растертого перманганата калия и смочите небольшим количеством воды, а в капельную воронку 2 — концентрированную соляную кислоту. Промывалку 3 заполните водой, промывалки 4, 5 и 10 концентрированной серной кислотой, предохранительную промывалку 9 оставьте пустой. В реактор 8 поместите 1,5 г иода и 15 мл сухого тетрахлорида углерода. Закройте реактор 8 крышкой с газоподводящей трубкой 6. Газоподводящая трубка должна быть погружена в раствор и не доходить до дна реактора на 5—10 мм.

Поместите реактор 8 в стакан 7 с водой, подогретой до 30—40 °С, и растворите иод в тетрахлориде углерода. Медленно приоткройте кран капельной воронки 2 и, добавляя по каплям концентрированную соляную кислоту к перманганату калия, установите интенсивный равномерный ток хлора через раствор в реакторе 8. Ток хлора отрегулируйте по скорости пробульживания пузырьков через промывалку 10 (примерно один—два пузырька в секунду). Скорость пробульживания через промывалку 10 будет ниже, чем через промывалки 3 и 4, так как хлор вступает в реакцию с иодом в реакторе 8. При взаимодействии иода с хлором изменяется окраска раствора и выпадают кристаллы трихлорида иода. После изменения окраски раствора до цвета дихромата калия закройте кран капельной воронки, отсоедините реактор и охладите в бане со льдом.

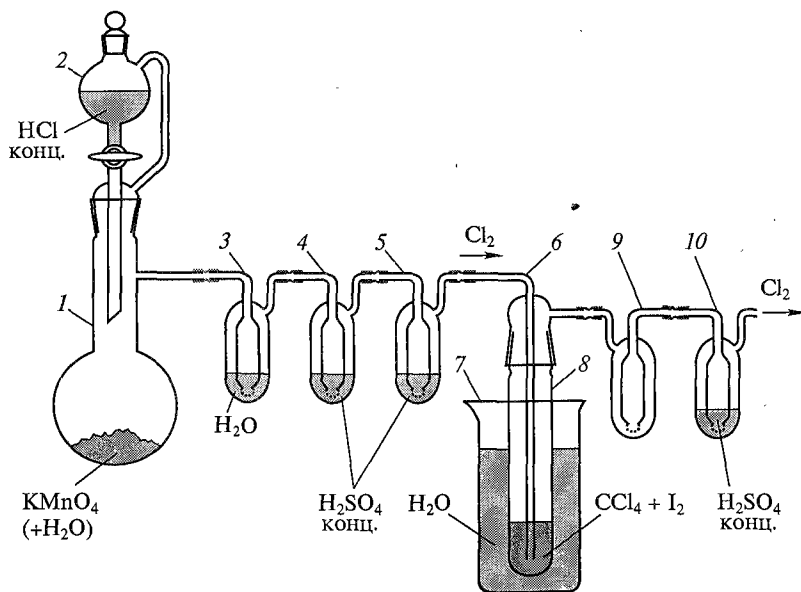


Рис. 123. Прибор для получения трихлорида иода:

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — промывалка с водой; 4, 5, 10 — промывалки с H_2SO_4 (конц.); 6 — газоподводящая трубка; 7 — стакан с водой; 8 — реактор; 9 — предохранительная промывалка

Осадок трихлорида иода с растворителем перенесите на воронку со стекляннм фильтрующим дном (стеклянный пористый фильтр) и отфильтруйте в инертной атмосфере (см. подразд. 4.4). В реактор немедленно добавьте 2—3 мл холодного маточного раствора, смойте остатки вещества со стенок реактора и перенесите на фильтр (два раза). Следите, чтобы вещество все время находилось под слоем жидкости.

После завершения фильтрования просушите осадок на фильтре в слабом токе сухого инертного газа. Воронку с высушенным веществом закройте пробкой, внесите в сухую камеру (см. подразд. 4.7) и перенесите вещество с фильтра в предварительно взвешенную пробирку с пробкой. Пробирку закройте пробкой, извлеките из сухой камеры и взвесьте. Рассчитайте выход в процентах по отношению к взятому количеству иода.

Фильтр с остатками вещества оставьте на воздухе и отметьте наблюдаемые изменения. Небольшое количество вещества растворите в 15 мл воды. Определите pH раствора. Какие продукты образуются в растворе? Покажите, присутствует ли в растворе иод. Напишите уравнения реакций.

33.5. Гипохлорит кальция

Задача включает получение гипохлорита кальция и определение его содержания в полученном препарате.

Получение гипохлорита кальция. Соберите в вытяжном шкафу прибор (рис. 124). В трехгорлую колбу 7 внесите 5,0 г свежеприготовленной гашеной извести (на-

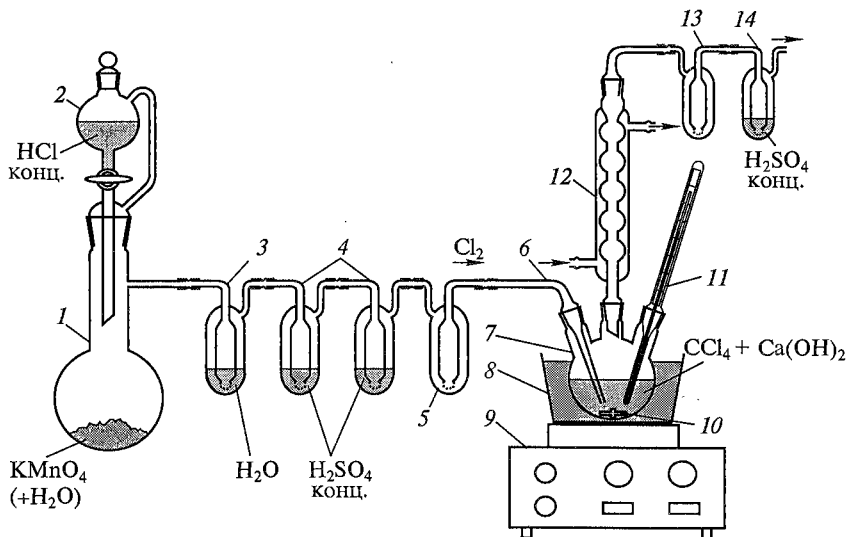


Рис. 124. Схема прибора для получения гипохлорита кальция:

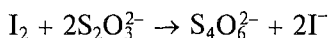
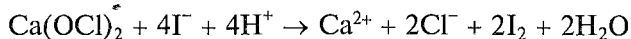
1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — промывалка с водой; 4, 14 — промывалки с H_2SO_4 ; 5, 13 — предохранительные промывалки; 6 — газоподводящая трубка; 7 — колба трехгорлая; 8 — баня водяная; 9 — магнитная мешалка; 10 — перемешивающий элемент; 11 — термометр; 12 — шариковый холодильник

деньте защитные очки и перчатки!) и прилейте 20 мл тетрахлорида углерода. Включите магнитную мешалку 9.

Медленно приоткройте кран капельной воронки 2 и, добавляя по каплям концентрированную соляную кислоту к перманганату калия, пропустите через смесь ток хлора со скоростью не более одного пузырька в 2 с. Хлор пропускайте до прекращения его поглощения (как это установить?). Обычно требуется около 1,5 ч. Температура смеси в трехгорлой колбе в продолжение всего опыта должна поддерживаться в интервале 20—30 °С. По завершении реакции образования гипохлорита кальция отсоедините колбу Вюрца 1 от трехгорлой колбы и выключите магнитную мешалку.

Образовавшийся осадок отфильтруйте (наденьте очки!) под уменьшенным давлением на стеклянном пористом фильтре, ничем не промывая. Для полного удаления тетрахлорида углерода перенесите осадок на часовое стекло и оставьте на воздухе на 30—40 мин. Сухое вещество перенесите во взвешенный бюкс и определите массу полученного продукта.

Определение содержания гипохлорита кальция в полученном препарате. Количество гипохлорита кальция определяется методом иодометрического титрования (см. подразд. 31.4), в основе которого лежат реакции:



Навеску полученного вещества (~0,1 г), взятую с точностью $\pm 0,0001$ г, поместите в коническую колбу для титрования и прилейте 10 мл воды, к полу-

Определение содержания гипохлорида кальция в препарате

Опыт	Навеска вещества, г	$C(Na_2S_2O_3)$, моль/л	$V(Na_2S_2O_3)$, мл	Масса $Ca(OCl)_2$, г	Содержание $Ca(OCl)_2$, масс.%
№ 1					
№ 2					
№ 3					
Среднее содержание $Ca(OCl)_2$ в навеске, масс.%					

ченному мутному раствору добавьте 10 мл 10%-ного раствора KI и 5 мл 1 н. раствора HCl. Раствор становится темно-коричневым в результате выделения йода.

Весь выделившийся йод сразу оттитруйте 0,1 н. раствором тиосульфата натрия. Тиосульфат натрия прибавляйте до тех пор, пока раствор не приобретет бледно-желтую окраску. Затем добавьте к раствору несколько капель свежеприготовленного крахмала. К образовавшемуся темно-синему раствору вновь прикапывайте тиосульфат натрия до полного обесцвечивания раствора.

Титрование проведите не менее трех раз до получения сходящихся результатов (разница в объеме раствора тиосульфата натрия не должна превышать 0,1 мл). Данные титрования занесите в табл. 25.

Из полученных данных рассчитайте содержание, масс.%, гипохлорита кальция в полученном препарате. Напишите уравнения реакций.

33.6. Хлорат калия

Соберите в вытяжном шкафу прибор для электролиза (рис. 125). Электролитическую ячейку 2 установите внутри корпуса электролизера. Приготовьте 100 мл 25%-ного раствора хлорида калия. Доведите pH раствора до 10 (по универсальному индикатору), добавляя по каплям 2%-ный раствор гидроксида калия. Полученный раствор перенесите в электролитическую ячейку 2. Пространство между корпусом электролизера 1 и ячейкой 2 заполните горячей водой с температурой $\sim 70^\circ\text{C}$. Опустите электроды в раствор и подключите их к источнику постоянного тока. Графитовый электрод 3 подсоедините к отрицательному полюсу, а платиновый 5 — к положительному (*не путайте! Ошибка в определении полярности при подключении ведет к необратимому разрушению графитового электрода и загрязнению раствора!*).

Установите силу тока через раствор 6 А. Внутри ячейки поддерживайте температуру раствора $60\text{—}80^\circ\text{C}$. Если она превысит 80°C , добавьте кусочки льда в пространство между ячейкой и корпусом электролизера. Избыток талой воды сливайте через кран 7 в нижней части корпуса электролизера.

Электролиз ведите 2—3 ч, затем отключите электрический ток и выньте электроды. Раствор с продуктами электролиза перелейте в химический стакан и подогрейте до растворения кристаллов хлората калия. Горячий раствор профильтруйте на воронке для горячего фильтрования и оставьте охлаждаться. Выпавшие кристаллы отделите от маточного раствора на стеклянном пори-

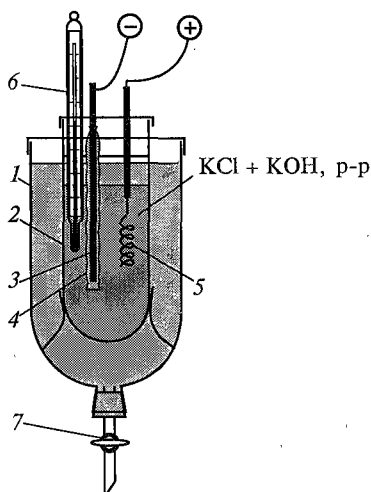


Рис. 125. Электролизер для получения хлората калия:

1 — корпус электролизера; 2 — корпус электролитической ячейки; 3 — графитовый электрод; 4 — стеклоткань; 5 — платиновый электрод; 6 — термометр; 7 — кран

стом фильтре, промойте спиртом (три раза порциями по 5 мл) и высушите на фильтре при включенном водоструйном насосе. Перенесите кристаллы во взвешенный бюкс и определите массу полученного вещества. Рассчитайте выход в процентах относительно теоретического выхода по току.

Кристаллы хлората калия рассмотрите под микроскопом и зарисуйте их форму. Небольшое количество вещества растворите в воде. С помощью качественных реакций докажете, что получен хлорат калия. Напишите уравнения реакций.

ГЛАВА 34

СЕРА, СЕЛЕН, ТЕЛЛУР

34.1. Хлорид тионила

Соберите в вытяжном шкафу прибор (рис. 126). В колбу Вюрца 1 поместите 25 г сульфита натрия и смочите его водой. В капельную воронку 2 налейте концентрированную серную кислоту. Промывалки 3 и 4 заполните концентрированной серной кислотой.

На дно сухой колбы Кляйзена 6 с дефлегматором и холодильником поместите 5,0 г пентахлорида фосфора так, чтобы газоподводящая трубка 5 слегка касалась твердого вещества. Медленно приоткройте кран капельной воронки 2 и по каплям добавляйте серную кислоту к сульфиту натрия. Установите ток сухого диоксида серы один—два пузырька в секунду по скорости пробульживания через промывалки 3 и 4. Наблюдайте за протеканием реакции, периодически перемешивая образующуюся жидкость покачиванием штатива вместе с прибором.

Если реакция протекает очень медленно, колбу 6 можно немного подогреть слабым пламенем горелки. После того, как весь пентахлорид фосфора вступит в реакцию, замените газоподводящую трубку 5 на стеклянную пробку 7. Отгоните во взвешенный приемник фракцию, кипящую при 80—85 °С, нагревая реакционную колбу лижущим пламенем горелки. Отсоедините приемник 10 от прибора, закройте его стеклянной пробкой, взвесьте и рассчитайте выход в процентах по отношению к взятому количеству пентахлорида фосфора. Что осталось в реакционной колбе?

Добавьте к остатку в колбе Кляйзена 6 через стеклянную воронку сравнимое с ним (по объему) количество твердого сульфита натрия и закройте колбу

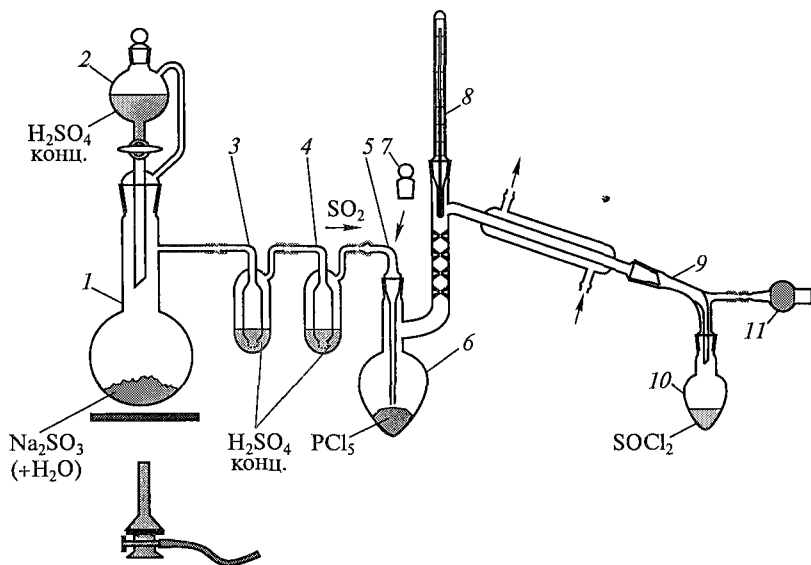


Рис. 126. Прибор для получения и отгонки хлорида тионила:

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3, 4 — промывалки; 5 — газоподводящая трубка; 6 — колба Кляйзена с дефлегматором и холодильником; 7 — пробка стеклянная; 8 — термометр; 9 — аллонж; 10 — приемник; 11 — хлоркальциевая трубка

пробкой. Нагрейте колбу 6 горелкой через асбестовую сетку и соберите выделяющуюся жидкость в новый взвешенный приемник 10, отметив температуру ее кипения. Что отгоняется? Напишите уравнение реакции. Взвесьте приемник с полученной жидкостью и рассчитайте массу вещества.

Объедините обе фракции хлорида тионила и перегоните их еще раз во взвешенный приемник. Отсоедините приемник от прибора, закройте его стеклянной пробкой, взвесьте и определите общий выход в процентах.

Небольшое количество хлорида тионила вылейте в стакан с водой (*в вытяжном шкафу!*). Что происходит? Определите продукты гидролиза хлорида тионила с использованием качественных реакций. Напишите уравнения реакций.

34.2. Хлорид сульфурила

Соберите в вытяжном шкафу прибор (рис. 127). В каждый шарик холодильника 7 поместите тонким слоем стеклянную вату, а на нее камфору (общая масса камфоры примерно 0,5 г). Приборы для получения хлора и сернистого газа присоедините к насадке 8.

Для получения хлора в колбу Вюрца 1 поместите 15 г растертого перманганата калия и смочите его небольшим количеством воды, а в капельную воронку 2 налейте концентрированную соляную кислоту. Для получения сернистого газа в колбу Вюрца 13 поместите 25 г сульфита натрия, смочите его 5 мл воды, а в капельную воронку 14 налейте концентрированную серную кислоту.

Погрузите колбу 9 полностью до самого горла в баню 10 с охлаждающей смесью (лед с хлоридом натрия). Медленно откройте краны капельных воро-

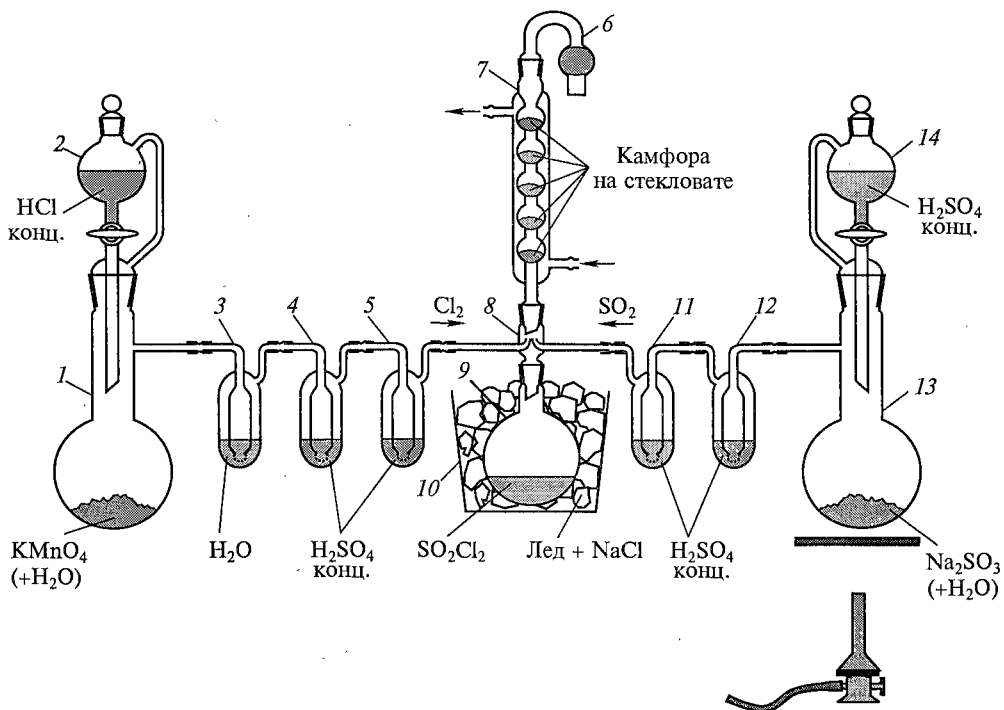


Рис. 127. Прибор для получения хлорида сульфурила:

1, 13 — колбы Вюрца; 2, 14 — капельные воронки; 3 — 5, 11, 12 — промывалки; 6 — хлоркальциевая трубка; 7 — шариковый холодильник; 8 — насадка; 9 — колба круглодонная; 10 — баня с охлаждающей смесью

нок 2 и 14 и пропустите в прибор одновременно хлор и сернистый газ. В зону реакции газы должны поступать с равной скоростью. Рубашку холодильника 7 вначале оставьте без воды; после того, как в колбе 9 начнет собираться хлорид сульфурила, включите слабый ток воды. Синтез можно закончить после получения ~10 мл хлорида сульфурила.

Перенесите жидкость из колбы 9 в прибор для перегонки. Нагрейте перегонную колбу горелкой через асбестовую сетку, расположенную на ~5 мм ниже дна колбы, и отгоните во взвешенный приемник фракцию, кипящую при 68 — 70 °С. Отсоедините приемник, закройте его стеклянной пробкой, взвесьте и определите массу полученного вещества.

Небольшое количество хлорида сульфурила вылейте в стакан с водой (*в вытяжном шкафу! Стекло опустите!*). Что происходит? Качественными реакциями идентифицируйте продукты гидролиза хлорида сульфурила. Напишите уравнения реакций.

34.3. Гидросульфид натрия

Соберите прибор (рис. 128). Колбу Вюрца 1 заполните примерно на $\frac{1}{3}$ сульфидом железа, капельную воронку 2 — 24%-ной соляной кислотой, промы-

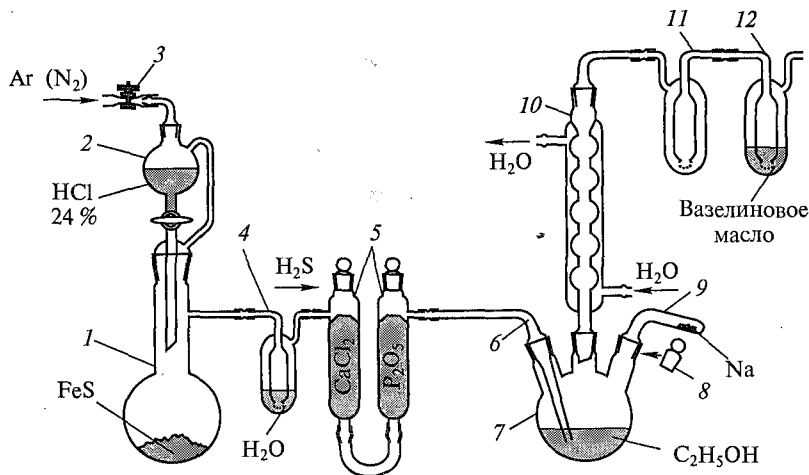


Рис. 128. Прибор для получения гидросульфида натрия:

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — зажим; 4, 12 — промывалки-счетчики пузырьков; 5 — осушительные колонки с хлоридом кальция и оксидом фосфора(V); 6 — газоподводящая трубка; 7 — колба трехгорлая; 8 — пробка стеклянная; 9 — «палец»; 10 — шариковый холодильник; 11 — промывалка предохранительная

валку 4 — водой, а промывалку-счетчик пузырьков 12 — вазелиновым маслом. Осушительные колонки 5 заполните хлоридом кальция и оксидом фосфора(V) на стеклянной вате. (При заполнении колонок оксидом фосфора(V) наденьте защитные очки и перчатки!) Прибор после сборки проверьте на герметичность (см. подразд. 3.5).

В трехгорлую колбу 7 налейте 25 мл абсолютного этанола. Свободное горло колбы закройте стеклянной пробкой 8. Заполните прибор сухим аргоном (азотом) через газоподводящую трубку 6 и закройте зажимом 3 резиновую трубку, подводящую аргон (азот).

Кусочек металлического натрия (примерно 0,7—0,8 г) очистите скальпелем от слоя оксида в фарфоровой ступке под слоем керосина и разрежьте на более мелкие кусочки (наденьте защитные очки, натрий берите только пинцетом!) Взвешивание проводите в бюксе с бензолом. Затем 0,5—0,6 г натрия промойте от бензола в бюксе с эфиром (огнеопасно! При работе с эфиром не должно быть открытого огня в радиусе до 5 м!), дайте высохнуть на воздухе и перенесите в изогнутый «палец» 9.

Выньте пробку 8 из горла колбы и быстро вставьте в него «палец» 9 с кусочками натрия. Вторично продуйте прибор аргоном. Осторожно поворачивая «палец», введите постепенно весь натрий (примерно в течение 10—15 мин) в реакционную колбу, не допуская закипания спирта.

После полного растворения металла в спирте приоткройте кран капельной воронки 2 и, добавляя по каплям раствор соляной кислоты к сульфиду железа, пропускайте ток сероводорода через раствор до прекращения поглощения газа (в течение примерно часа).

Для выделения (высаливания) гидросульфида добавьте в спиртовый раствор 70—100 мл абсолютного диэтилового эфира порциями по 20—25 мл.

Операцию по высаливанию можно завершить, когда после добавления очередной порции эфира практически не будет выпадать осадок.

Выпавшие кристаллы отделите от маточного раствора на стеклянном пористом фильтре в сухом аргоне или азоте (см. подразд. 4.4), затем промойте абсолютированным диэтиловым эфиром и высушите на воздухе. Полученный препарат поместите в заранее взвешенный бюкс, взвесьте и рассчитайте выход в процентах.

Небольшую часть кристаллов растворите в воде и определите рН. Добавьте к полученному раствору несколько капель раствора соли меди или кадмия. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

34.4. Пероксодисульфат калия

Соберите в вытяжном шкафу прибор для электролиза (рис. 129). В электролитическую ячейку 2 поместите 100 мл 25%-ного раствора гидросульфата калия. Пространство между корпусом электролизера 1 и корпусом ячейки 2 заполните водой со льдом. Опустите электроды в раствор и подключите их к источнику постоянного тока. Графитовый электрод 3 (в стеклоткани 4) подсоедините к отрицательному полюсу, а платиновый 4 — к положительному (*не путайте! Ошибка в определении полярности при подключении ведет к необратимому разрушению графитового электрода и загрязнению раствора!*).

Установите силу тока через раствор 6А. Отметьте напряжение на электродах. Следите (по показаниям термометра 6) за тем, чтобы температура раствора внутри ячейки не превышала 30—40 °С. Для этого постоянно добавляйте новые порции льда в пространство между ячейкой и корпусом электролизера. Избыток воды сливайте через кран 7 в нижней части корпуса электролизера.

Электролиз ведите в течение часа, затем отключите электрический ток, выньте электроды, а раствор с продуктами электролиза перенесите в стакан и охладите до 0 °С в бане со льдом. Выпавшие кристаллы отделите от маточного раствора на стеклянном пористом фильтре, промойте спиртом (три раза порциями по 5 мл) и высушите на фильтре при включенном водоструйном насосе. Перенесите полученное вещество во взвешенный бюкс и взвесьте. Рассчитайте выход в процентах относительно теоретического выхода по току.

Приготовьте 10 мл насыщенного при комнатной температуре раствора полученного соединения и разлейте его в три пробирки. В первую пробирку добавьте 1 мл 10%-ной серной кислоты, одну каплю раствора нитрата серебра и одну каплю раствора сульфата марганца(II). Пробирку на-

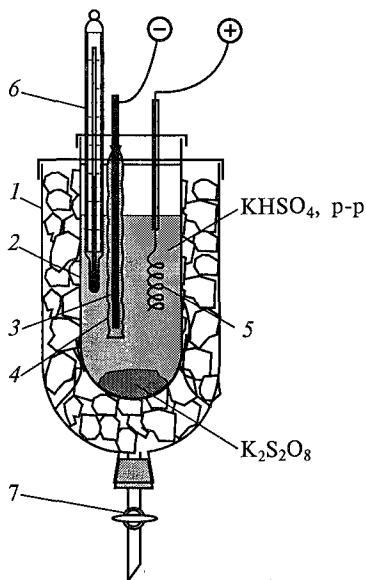


Рис. 129. Электролизер для получения пероксодисульфата калия:

1 — корпус электролизера; 2 — корпус электролитической ячейки; 3 — графитовый электрод; 4 — стеклоткань; 5 — платиновый электрод; 6 — термометр; 7 — кран

третье. Во вторую пробирку добавьте 1 мл раствора сульфата хрома(III) и 2 мл 1 М раствора гидроксида натрия. В третью пробирку налейте 1 мл 1 М раствора гидроксида натрия и 1 мл раствора сульфата марганца(II). Если окраска не изменяется, пробирку подогрейте. Что наблюдаете во всех трех пробирках? Напишите уравнения реакций.

34.5. Серный ангидрид .

Получение серного ангидрида из серной кислоты. (Осторожно! Опыт выполняйте в вытяжном шкафу, в защитных очках и двойных защитных перчатках.) Небольшую реторту 1 (рис. 130) заполните примерно наполовину фосфорным ангидридом, затем прилейте 4—5 мл концентрированной серной кислоты и закройте тубус реторты пробкой 2 из асбеста. Горло реторты вставьте поглубже в пробирку-приемник 4 с перетяжкой, помещенную в баню со льдом и водой 5. Отверстие пробирки прикройте неплотно стекловатой 3.

Осторожно нагрейте содержимое колбы пламенем горелки. Что наблюдаете? Напишите уравнение реакции. По окончании реакции пробирку запаяйте и оставьте на некоторое время на столе. Что происходит с веществом внутри пробирки?

Получение серного ангидрида из продуктов взаимодействия серной кислоты с сульфитом или хлоридом натрия. (Осторожно! Опыт выполняйте в вытяжном шкафу, в защитных очках и перчатках!) По завершении получения сернистого газа действием серной кислоты на сульфит натрия (см. подразд. 13.4) перенесите содержимое колбы Вюрца в фарфоровую чашку, поместите ее на песчаную баню и нагревайте до затвердевания расплава. Что представляет твердый остаток?

Твердое вещество измельчите в фарфоровой ступке и поместите в реторту из жаропрочного стекла, конец которой помещен в охлаждаемую водой со

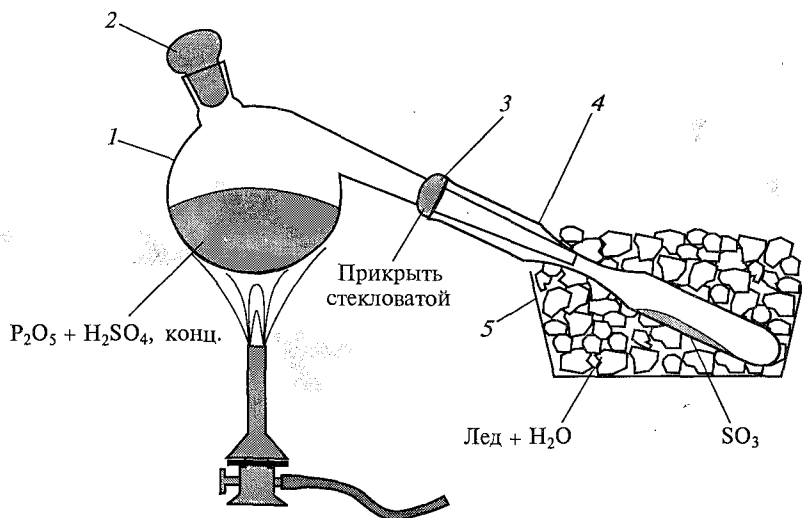


Рис. 130. Прибор для получения серного ангидрида:

1 — реторта; 2 — асбестовая пробка; 3 — стекловата; 4 — пробирка-приемник; 5 — баня со льдом и водой

льдом пробирку с перетяжкой (см. рис. 130). Нагрейте реторту пламенем горелки. Если вначале появятся капли жидкости (что это?), соберите ее в отдельную пробирку. Выделяющиеся белые пары серного ангидрида сконденсируйте в оттянутую пробирку и запаяйте. Напишите уравнения реакций.

34.6. Оксиды селена(IV) и теллура(IV)

(Все опыты с селеном и теллуrom проводят только в очках и перчатках в вытяжном шкафу. Оксиды селена и теллура ядовиты. После проведения опытов тщательно промойте лабораторную посуду «царской водкой», руки вымойте с мылом!)

Оксид селена(IV)

Соберите прибор (рис. 131). В большую пробирку 1 из тугоплавкого стекла поместите 8—10 г смеси нитрата свинца и сухого песка, взятых в массовом соотношении 3:1. Заполните U-образную трубку 2 и хлоркальциевую трубку 5 оксидом фосфора(V) на стекловате.

Взвесьте 0,2—0,3 г селена и поместите его в длинный жаростойкий реактор 4. Прогрейте горелкой пробирку 1 с нитратом свинца, а затем сильно нагрейте. Когда весь прибор заполнится оксидом азота(IV), нагрейте пламенем горелки только ту часть реактора 4, где находится селен. Нагревайте сначала осторожно, а затем более энергично, не прекращая греть пробирку с нитратом свинца.

Когда весь селен окислится, а оксид селена(IV) возгонится и сконденсируется на стенках реактора 4, прекратите нагревание и дайте прибору охладиться до комнатной температуры. Возогнанный оксид селена(IV) извлеките из реактора 4, быстро перенесите в заранее взвешенный бюкс и взвесьте. Определите выход в процентах.

1. Растворите весь оксид селена(IV) в воде и получите селенистую кислоту

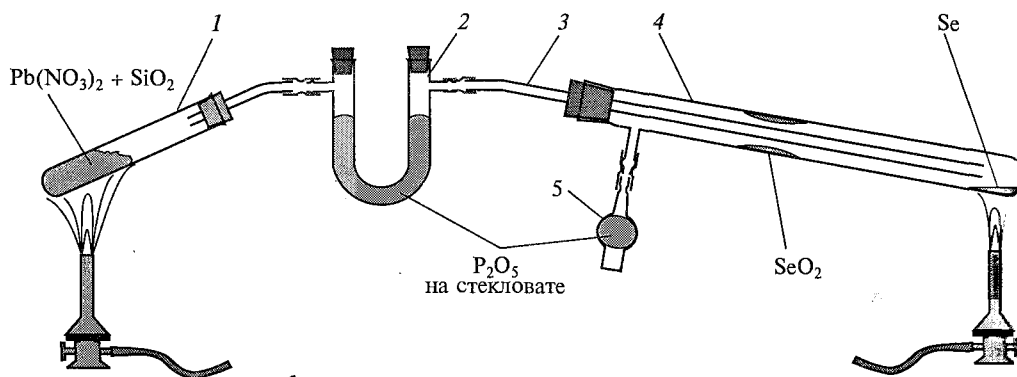


Рис. 131. Прибор для получения оксида селена(IV):

1 — пробирка из тугоплавкого стекла; 2 — U-образная трубка; 3 — газоподводящая трубка; 4 — реактор; 5 — хлоркальциевая трубка

2. К растворам селенистой кислоты в отдельных пробирках прибавьте растворы хлорида олова(II) и сульфита натрия. Нагрейте содержимое пробирок. Что наблюдаете?

3. К растворам селенистой кислоты, подкисленным серной кислотой, в отдельных пробирках добавьте растворы перманганата и дихромата калия. Нагрейте содержимое пробирок. Что наблюдаете?

Напишите уравнения реакций.

Оксид теллура(IV)

Поместите в стакан 1,5—2,0 г порошкообразного теллура. Смочите теллур водой, прилейте к нему 15—20 мл концентрированной соляной кислоты и добавьте 15 мл концентрированной азотной кислоты. Нагрейте реакционную смесь, прикрыв стакан часовым стеклом. Если теллур растворился не полностью, разбавьте реакционную смесь на $\frac{1}{3}$ водой и профильтруйте раствор через складчатый фильтр, смоченный 5%-ным раствором соляной кислоты. Добавьте в фильтрат при постоянном перемешивании 50 мл горячей воды (80 °С). Что наблюдаете?

Нейтрализуйте раствор аммиаком до pH = 3...4. Отфильтруйте выделившееся вещество на стеклянном пористом фильтре, осадок отмойте водой от хлоридов и высушите в сушильном шкафу при 105 °С. Определите выход в процентах по отношению к исходному количеству теллура.

1. Испытайте отношение оксида теллура(IV) к воде, а также растворам гидроксида натрия и соляной кислоты при нагревании.

2. К растворам оксида теллура(IV) в соляной кислоте, разбавленным водой, в двух пробирках прибавьте растворы хлорида олова(II) и сульфита натрия. Нагрейте содержимое пробирок. Что наблюдаете?

3. К раствору оксида теллура(IV) в соляной кислоте добавьте насыщенный раствор хлорида аммония. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

ГЛАВА 35

АЗОТ

35.1. Гидросульфат гидразиния

Гидросульфат гидразиния синтезируют окислением карбамида (мочевины) гипохлоритом.

Получение гипохлорита натрия. Для приготовления раствора гипохлорита натрия соберите в вытяжном шкафу прибор для получения хлора (см. рис. 60). В коническую колбу поместите раствор гидроксида натрия со льдом (8,0 г гидроксида натрия растворите в 35 г смеси воды со льдом). Колбу поместите в баню со льдом. Через охлаждаемый раствор гидроксида натрия пропускайте интенсивный ток хлора. Температура раствора во время хлорирования не должна превышать 5 °С. Полноту поглощения хлора определяйте периодическим взвешиванием колбы.

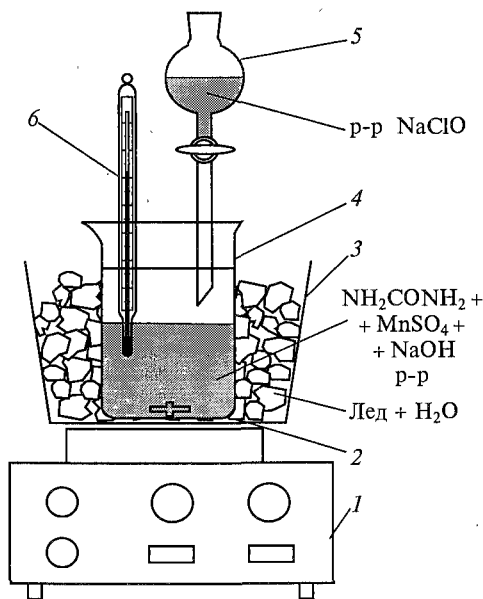


Рис. 132. Прибор для получения раствора гидразина:

1 — магнитная мешалка; 2 — перемешивающий элемент; 3 — баня со льдом; 4 — стакан; 5 — капельная воронка; 6 — термометр

раствора серной кислоты при интенсивном перемешивании стеклянной палочкой (в защитных очках!). Температура при этом не должна подниматься выше 40—50 °С. По окончании прикапывания раствор охладите до 22—25 °С.

Отфильтруйте выпавший гидросульфат гидразиния на стеклянном пористом фильтре, промойте последовательно по два раза охлажденной водой, спиртом и эфиром (порциями по 5 мл) и высушите на воздухе. Сухое вещество взвесьте и рассчитайте выход в процентах.

Часть кристаллов растворите в воде и докажите присутствие гидросульфата гидразиния. Напишите уравнения реакций.

35.2. Гидразин

Гидразин получают из гидросульфата гидразиния в две стадии. Вначале выделяют гидрат гидразина, а затем обезвоживают его гидроксидом калия.

Получение гидрата гидразина. Соберите в вытяжном шкафу прибор (рис. 133). Быстро разотрите в фарфоровой ступке 15 г твердого гидроксида калия (наденьте защитные очки и резиновые перчатки!) и перенесите его в медную реторту 1; сверху, не перемешивая (при перемешивании возможно самопроизвольное разложение гидразина с разбрасыванием реакционной массы!), внесите 15 г гидросульфата гидразиния. Реторту 1 присоедините к холодильнику 3. Вставьте в тубус реторты газоподводящую трубку 7 и продуйте прибор инертным газом (азотом, аргоном), затем выньте трубку 7 и закройте реторту асбестовой пробкой 2.

Получение гидросульфата гидразиния. В химический стакан 4 (рис. 132) налейте 10 мл 35%-го раствора гидроксида натрия. При перемешивании стеклянной палочкой внесите в стакан раствор 0,1 г пентагидрата сульфата марганца в 1,0 мл воды и 2,5 г мочевины. Охладите стакан в бане 3 из немагнитного материала смесью льда и воды, после чего поставьте баню со стаканом на магнитную мешалку 1 и включите ее. Постепенно введите из капельной воронки 5 в раствор 21 мл охлажденного раствора гипохлорита натрия. Температура в стакане 4 даже в конце реакции не должна подниматься выше 10 °С.

Уберите баню со льдом 3, включите нагрев на магнитной мешалке 1 и медленно, со скоростью 2 °С/мин, нагрейте раствор в стакане 4 до 60 °С, затем снимите стакан с мешалки и оставьте охлаждаться в вытяжном шкафу.

Полученный раствор перелейте в капельную воронку и введите по каплям в фарфоровый стакан с 25 мл 50%-ного

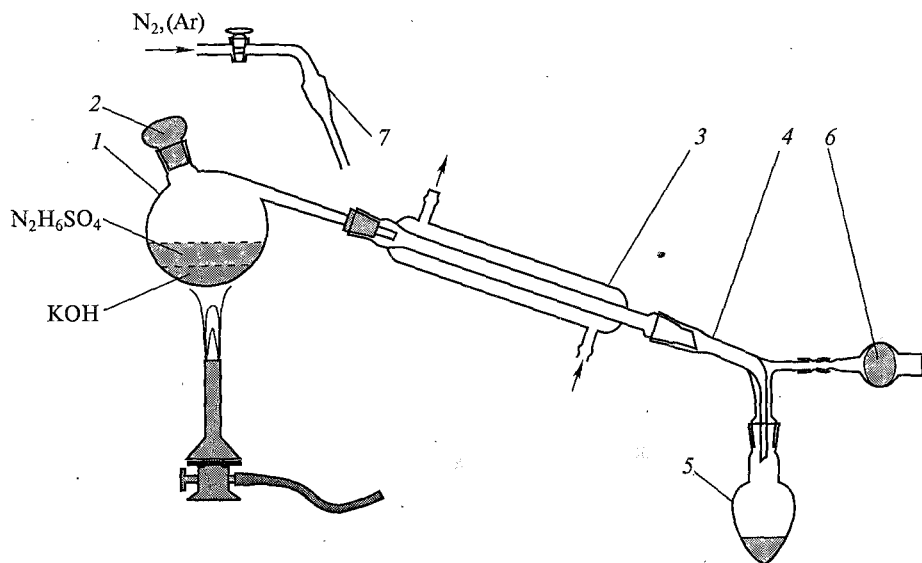


Рис. 133. Прибор для получения гидразина:

1 — медная реторта; 2 — асбестовая пробка; 3 — холодильник; 4 — аллонж; 5 — колба-приемник; 6 — хлоркальциевая трубка; 7 — газоподводящая трубка

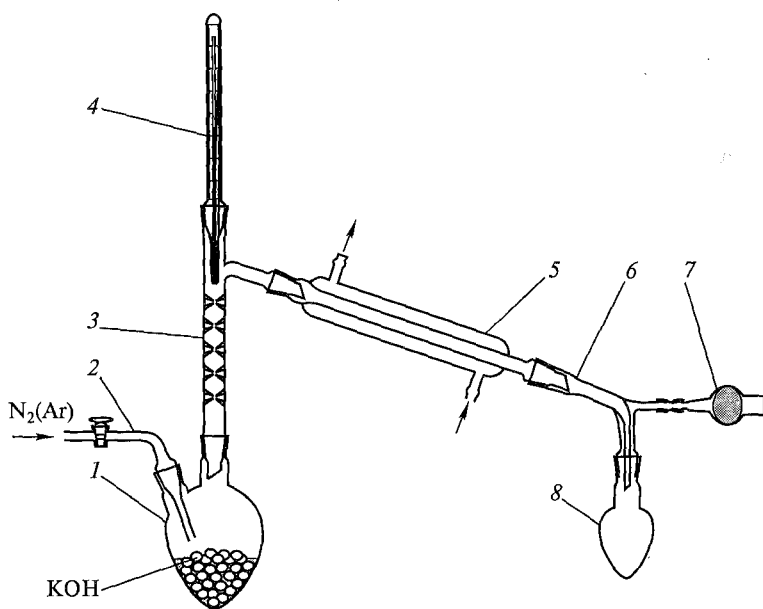


Рис. 134. Прибор для получения безводного гидразина:

1 — колба; 2 — газоподводящая трубка с краном; 3 — дефлегматор; 4 — термометр; 5 — холодильник; 6 — аллонж; 7 — хлоркальциевая трубка; 8 — приемник

Реторту с реакционной смесью очень медленно нагревайте лизущим пламенем горелки таким образом, чтобы скорость отгонки жидкости в приемник составляла 1 капля/с. (*Не перегревайте! При перегреве возможно самопроизвольное разложение гидразина с выбросом реакционной массы! Работайте в защитных очках!*) После отгонки всей жидкости отключите горелку, снимите колбу-приемник 5 с веществом и закройте ее стеклянной пробкой.

Получение безводного гидразина. Соберите в вытяжном шкафу прибор (рис. 134). Перенесите полученный гидрат гидразина в колбу для перегонки 1 и засыпьте гранулированным гидроксидом калия так, чтобы горка твердого вещества выступала из жидкости на ~5 мм.

Продуйте прибор сухим аргоном или азотом через газоподводящую трубку 2 и закройте кран. Осторожно нагрейте колбу 1 и соберите во взвешенный приемник 8 первую фракцию, кипящую при 112—114 °С. Закройте приемник пробкой, взвесьте и рассчитайте выход в процентах по отношению к взятому количеству сульфата гидразина.

Налейте две-три капли полученного безводного гидразина на часовое стекло и подожгите. Что наблюдаете?

Проведите реакции, характеризующие свойства гидразина и напишите их уравнения.

35.3. Хлорид гидроксиламмония

Соберите в вытяжном шкафу прибор для получения оксида серы(IV) действием серной кислоты на сульфит натрия (см. рис. 74, подразд. 13.4). Растворите 3,8 г гидроксида натрия в 15 мл воды и пропустите через раствор сернистый газ до кислой реакции раствора.

Прилейте полученный раствор по каплям при непрерывном перемешивании к охлаждаемому смесью льда с солью раствору 3,0 г нитрита натрия в 5 мл воды. Следите за тем, чтобы температура раствора не поднималась выше 0 °С. Перелейте раствор в круглодонную колбу, разбавьте до объема 80 мл и нагрейте до кипения. Проведите полное осаждение сульфат-ионов рассчитанным количеством насыщенного раствора хлорида бария в воде и охладите раствор до комнатной температуры.

Отфильтруйте осадок сульфата бария и упарьте раствор досуха в фарфоровой чашке на водяной бане. Горячую чашку быстро охладите холодной водой, чтобы легче отделить получившийся осадок. Экстрагируйте хлорид гидроксиламмония из осадка этиловым спиртом. Для этого измельченную массу перенесите в колбу с обратным холодильником, прилейте 15 мл этилового спирта и нагрейте колбонагревателем (на плитке с закрытой спиралью) до кипения. Жидкость слейте в стакан, а твердую массу вновь обработайте 8 мл спирта. Спиртовые вытяжки объедините, профильтруйте через воронку со стеклянным фильтрующим дном. Фильтрат упарьте на водяной бане до начала кристаллизации.

Раствор охладите, выпавшие кристаллы отделите на стеклянном пористом фильтре (*осторожно, гидроксиламин ядовит!*), взвесьте и рассчитайте выход в процентах.

Рассмотрите форму кристаллов под микроскопом. Напишите уравнения реакций.

35.4. Нитрозилсерная кислота (гидросульфат нитрозония)

Нитрозилсерную кислоту получают при пропускании сернистого газа через дымящую азотную кислоту.

Получение дымящей азотной кислоты (см. подразд. 14.6, рис. 84).

Получение гидросульфата нитрозония. Соберите в вытяжном шкафу прибор (рис. 135). В колбу Вюрца 1 поместите 25 г сульфита натрия и смочите его водой, в капельную воронку 2 налейте концентрированную серную кислоту. Внесите 5—7 мл полученной дымящей азотной кислоты в реактор 6 и охладите его в бане со льдом 7.

Медленно приоткройте кран капельной воронки 2 и пропускайте ток сухого сернистого газа через азотную кислоту до ее полного превращения в кристаллическую массу. Не допускайте перегрева реакционной массы, приводящего к разложению продукта реакции с выделением оксидов азота.

Образовавшееся кристаллическое вещество отделите от маточного раствора на стеклянном пористом фильтре (*в вытяжном шкафу!*) в среде сухого аргона или азота (см. подразд. 4.4), затем дважды промойте ледяной уксусной кислотой (дважды вымороженной) порциями по 2 мл. Быстро перенесите кристаллы во взвешенный бюкс и взвесьте. Рассчитайте выход в процентах.

Часть кристаллов осторожно растворите в небольшом количестве воды. Определите pH раствора. С помощью качественных реакций идентифицируйте продукты гидролиза. Напишите уравнения реакций.

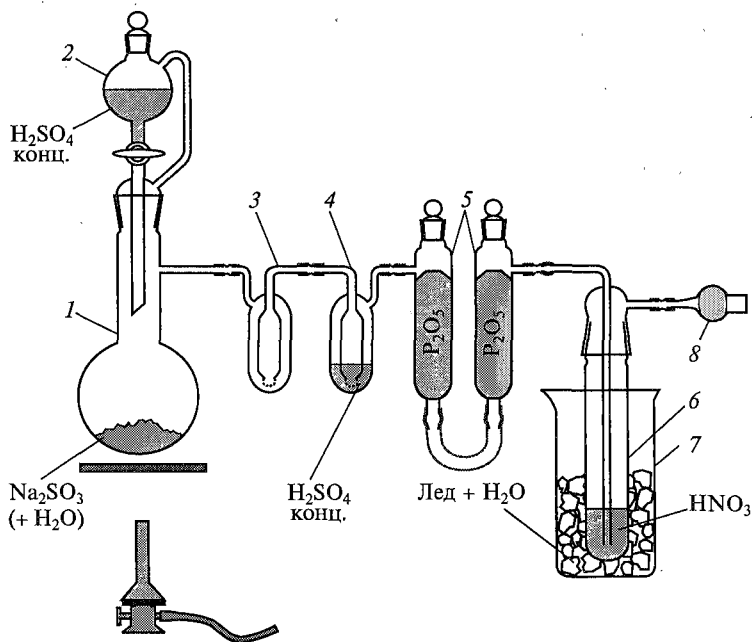


Рис. 135. Прибор для получения гидросульфата нитрозония:

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — предохранительная промывалка; 4 — промывалка с H_2SO_4 (конц.); 5 — осушительные колонки; 6 — реактор; 7 — баня со льдом и водой; 8 — хлоркальциевая трубка

36.1. Получение трихлорида фосфора из пентахлорида

Внимание! При нагревании красного фосфора в атмосфере возможно образование белого фосфора, легко воспламеняющегося на воздухе. Не разбирайте приборы с белым фосфором до их охлаждения до комнатной температуры. Остатки возогнавшегося белого фосфора гасите раствором сульфата меди или бромной водой (см. подразд. 15.1).

Соберите в вытяжном шкафу прибор (рис. 136). Все его части должны быть тщательно высушены. Разотрите 6 г пентахлорида фосфора в фарфоровой ступке, помещенной в сухую камеру. Взвешивайте вещество только в бюксе. Извлеките закрытый бюкс с порошком из сухой камеры и быстро пересыпьте его через широкогорлую воронку в колбу Кляйзена 1 с дефлегматором и холодильником.

Сверху на слой пентахлорида фосфора насыпьте слой красного фосфора, взятого в пятикратном избытке по отношению к стехиометрическому количеству.

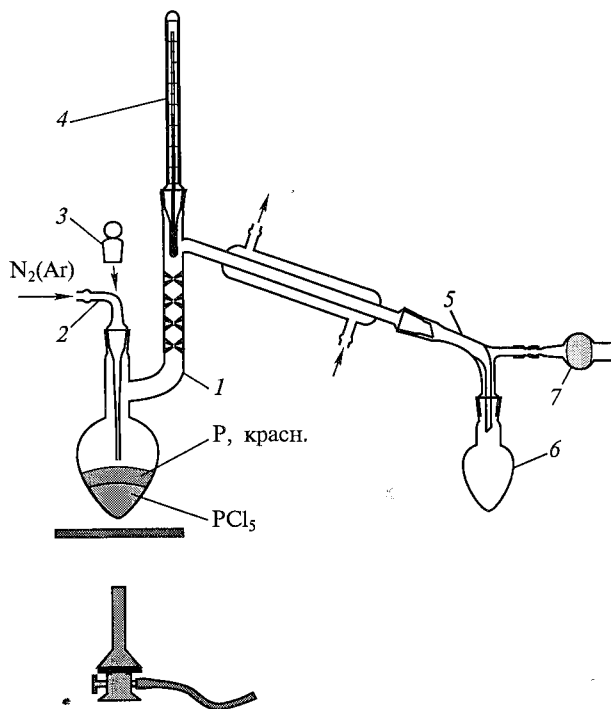


Рис. 136. Прибор для получения трихлорида фосфора:

1 — колба Кляйзена с дефлегматором и холодильником; 2 — газоподводящая трубка; 3 — стеклянная пробка; 4 — термометр; 5 — аллонж; 6 — колба-приемник; 7 — хлоркальциевая трубка

Продуйте прибор сухим инертным газом (азотом, аргонем) через газоподводящую трубку 2. Затем быстро замените ее на стеклянную пробку 3 и осторожно нагрейте колбу Кляйзена через асбестовую сетку, наблюдая за скоростью отгонки трихлорида фосфора. Рекомендуемая скорость отгонки 1—2 капли/с. Соберите в заранее взвешенный приемник 6 фракцию, кипящую при 75—77 °С. Охладите прибор до комнатной температуры и отсоедините приемник 6. Закройте приемник пробкой, взвесьте и рассчитайте выход в процентах по отношению к взятому количеству пентахлорида фосфора. Нейтрализуйте остатки возогнавшегося белого фосфора в приборе раствором сульфата меди или бромной водой.

Вылейте небольшое количество трихлорида фосфора в пробирку с водой. Определите pH раствора. С помощью качественных реакций идентифицируйте продукты гидролиза. Напишите уравнения реакций.

36.2. Трибромид фосфора*

Соберите в вытяжном шкафу прибор (рис. 137). Кран капельной воронки смажьте расплывающимся оксидом фосфора(V). В колбу 1 поместите 2,5 г сухого красного фосфора. Подсоедините «кислородную» подушку с инертным газом к газоподводящей трубке 4 и вытесните воздух из прибора током сухого

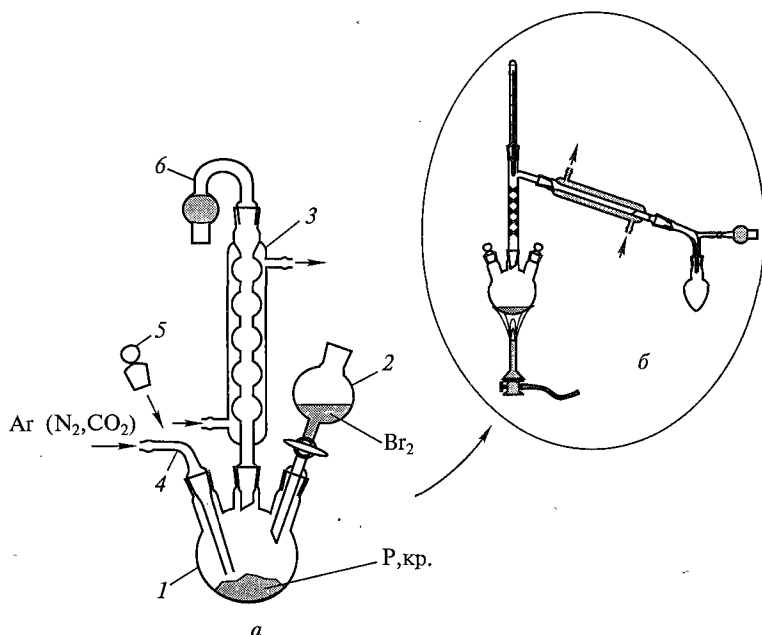


Рис. 137. Прибор для синтеза трибромид фосфора:

a — синтез; *б* — перегонка; 1 — колба трехгорлая; 2 — капельная воронка; 3 — шариковый холодильник; 4 — газоподводящая трубка; 5 — стеклянная пробка; б — хлоркальциевая трубка

* См. предостережение в подразд. 36.1.

газа (аргон, азот, углекислый газ), после чего замените газоподводящую трубку стеклянной пробкой 5. В капельную воронку 2 налейте сухой бром с недостатком 15 % относительно количества, рассчитанного по уравнению реакции. (Наденьте защитные перчатки и очки!)

Небольшими порциями введите весь бром в колбу. В начале эксперимента приливайте бром очень осторожно — по каплям. По мере образования на дне колбы жидкого трибромида фосфора скорость приливания брома можно несколько увеличить.

Наряду с трибромидом фосфора образуются пента- и гептабромид фосфора (кристаллы желтого и красного цвета, оседающие на стенках колбы). Для их удаления периодически осторожно нагрейте слабым пламенем горелки стенки колбы. Окончанием синтеза можно считать исчезновение паров брома в колбе.

Дождитесь охлаждения прибора до комнатной температуры и преобразуйте его в прибор для фракционной перегонки (рис. 137, б). Для этого быстро замените шариковый холодильник 3 на дефлегматор с термометром и холодильником Либиха. Снимите капельную воронку и закройте освободившееся горло колбы стеклянной пробкой. Продуйте прибор инертным газом. Для отгонки трибромида фосфора нагрейте колбу (см. рис. 137, б) пламенем газовой горелки. Соберите в приемник фракцию, кипящую при 172—174 °С. Если отогнанный препарат окрашен следами брома, перенесите его в прибор для перегонки, добавьте 0,2—0,3 г красного фосфора и перегоните еще раз. Не забудьте продуть прибор инертным газом.

Полученный продукт перенесите во взвешенную оттянутую пробирку и запаяйте (в защитных очках!). Взвесьте пробирку с веществом и рассчитайте выход в процентах по отношению к взятому количеству брома. Нейтрализуйте остатки возогнавшегося белого фосфора в приборе раствором сульфата меди или бромной водой.

Промойте приемники, в которых находился трибромид фосфора, водой. Определите pH полученного раствора. С помощью химических реакций подтвердите состав продуктов гидролиза. Напишите уравнения реакций.

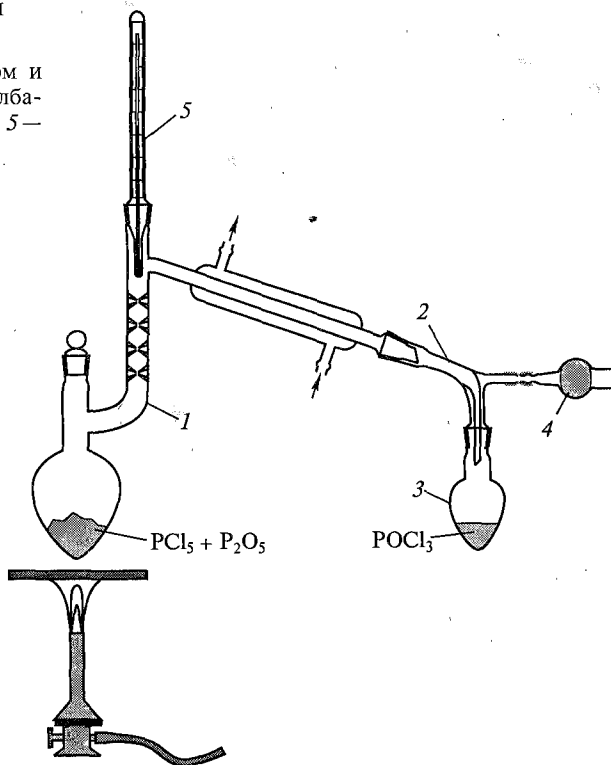
36.3. Оксотрихлорид фосфора

Соберите в вытяжном шкафу прибор (рис. 138). Все части прибора должны быть предварительно высушены. В сухой камере (см. подразд. 4.7) приготовьте 10 г смеси хлорида и оксида фосфора(V), взятых в стехиометрических количествах. Для этого измельчите пентахлорид фосфора в фарфоровой ступке, добавьте к нему оксид фосфора(V) и перемешайте стеклянной палочкой.

Смесь быстро через широкогорлую воронку перенесите в колбу Кляйзена I с дефлегматором и холодильником и закройте стеклянной пробкой. Осторожно нагрейте колбу через асбестовую сетку. Нагрев отрегулируйте таким образом, чтобы образующаяся в результате реакции жидкость не отгонялась, а стекала обратно из дефлегматора в колбу. По завершении реакции усильте нагрев и отгоните образовавшийся оксотрихлорид фосфора в заранее взвешенную (с пробкой!) колбу-приемник 3. Отметьте температуру перегонки. Отсоедините колбу-приемник от прибора, закройте стеклянной пробкой, взвесьте и рассчитайте выход в процентах.

Рис. 138. Прибор для получения оксотрихлорида фосфора(V):

1 — колба Клайзена с дефлегматором и холодильником; 2 — аллонж; 3 — колба-приемник; 4 — хлоркальциевая трубка; 5 — термометр



Вылейте небольшое количество полученной жидкости в пробирку с водой. Определите pH раствора и идентифицируйте продукты гидролиза. Напишите уравнения реакций.

36.4. Тиотрихлорид фосфора

Соберите в вытяжном шкафу прибор (рис. 139, а). В колбу 1 поместите 11 мл трихлорида фосфора и 4,0 г тонкоизмельченной в фарфоровой ступке серы. В изогнутый «палец» 2 поместите 1—2 г измельченного безводного хлорида алюминия (лучше в сухой камере).

Нагрейте колбу 1 колбонагревателем 5 до закипания трихлорида фосфора и отметьте температуру в пространстве между колбонагревателем и колбой (должно быть примерно 90—100 °С). После закипания трихлорида фосфора, поверните «палец» в шлифе и небольшими порциями внесите в реакционную смесь весь хлорид алюминия, не допуская слишком бурного ее кипения. После внесения всего хлорида алюминия поддерживайте температуру колбы на прежнем уровне до прекращения кипения жидкости, что свидетельствует о вступлении в реакцию всего трихлорида фосфора.

После завершения реакции уберите колбонагреватель и охладите реакционную смесь до комнатной температуры. Замените изогнутый «палец» на стеклянную пробку, а шариковый холодильник 3 на дефлегматор с холодильником Либиха, аллонжем, колбой-приемником и термометром (рис. 139, б).

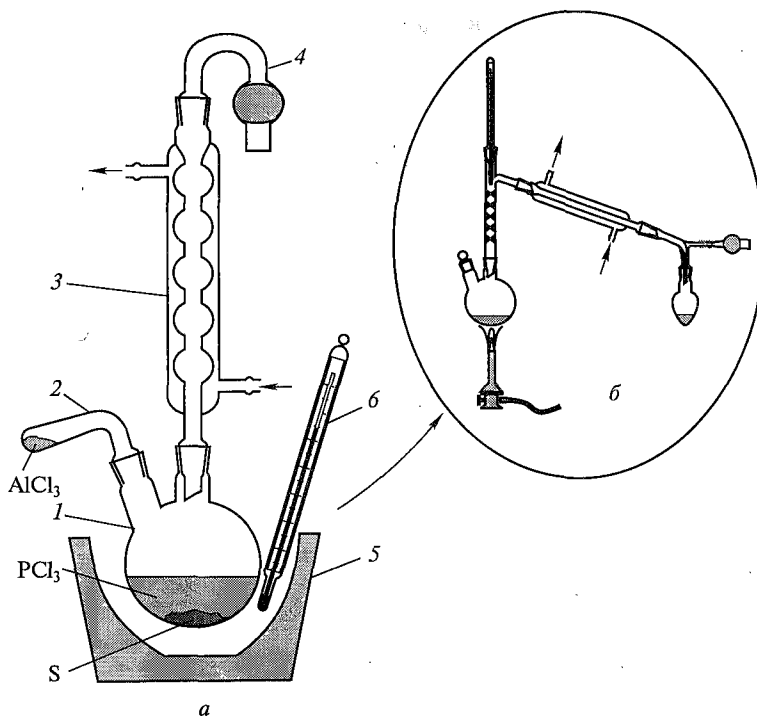


Рис. 139. Прибор для получения тиотрихлорида фосфора:

a — синтез; *б* — перегонка; 1 — двугорлая колба; 2 — «палец»; 3 — шариковый холодильник; 4 — хлоркальциевая трубка; 5 — колбонагреватель; 6 — термометр

Нагрейте колбу пламенем горелки и отгоните тиотрихлорид фосфора в заранее взвешенный приемник. Отметьте температуру кипения. Отсоедините приемник с полученным веществом от прибора, закройте пробкой и взвесьте. Рассчитайте выход в процентах относительно взятого количества трихлорида фосфора.

Небольшое количество полученного тиотрихлорида фосфора прилейте к воде. Что наблюдаете? Определите pH раствора. Что образуется при взаимодействии с водой? Напишите уравнения реакций.

36.5. Фосфорноватистая кислота

(Белый фосфор ядовит и легко воспламеняется. Работа с ним требует особой осторожности. Белый фосфор разрешается брать только пинцетом. К месту проведения опыта фосфор следует переносить под водой в фарфоровой чашке или ступке.)

Соберите в вытяжном шкафу прибор (рис. 140). В трехгорлую колбу 1 поместите суспензию 6,0 г гидроксида бария в 75 мл воды. В изогнутую пробирку 4 («палец») поместите 1,0 г белого фосфора. Через газоподводящую трубку 2 продуйте прибор аргоном или азотом из «кислородной» подушки. Поверните «палец» 4 в шлифе и внесите белый фосфор в суспензию гидроксида бария. Нагрейте колбу через асбестовую сетку пламенем горелки и грейте до прекращения выделения фосфина, самовоспламеняющегося при контакте с атмосферным воздухом.

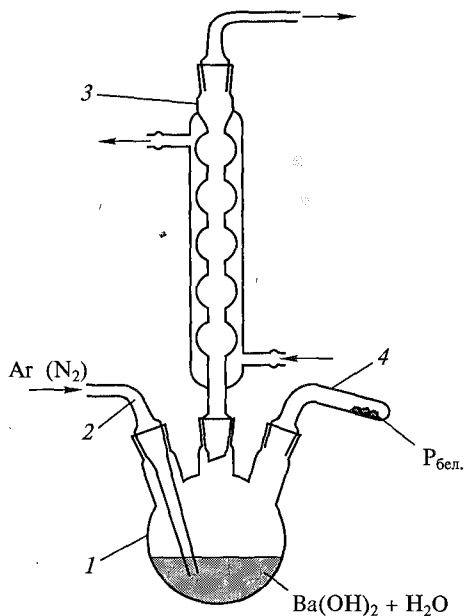
Рис. 140. Прибор для получения фосфорноватистой кислоты:

— трехгорлая колба; 2 — газоподводящая трубка; 3 — шариковый холодильник; 4 — «палец»

По завершении реакции пропустите через реакцию смесь ток углекислого газа до прекращения выпадения осадка. Осадок отфильтруйте на воронке Бюхнера и промойте несколькими порциями воды (50—60 °С). Соберите фильтрат вместе с промывными водами и упарьте в фарфоровой чашке на водяной бане до $\frac{1}{3}$ первоначального объема. Раствор еще раз профильтруйте через гладкий бумажный фильтр и упарьте на водяной бане до появления кристаллической пленки (осторожно! Не перегревайте!). К теплому раствору добавьте равный объем этанола, смесь охладите, а выпавшие кристаллы отделите фильтрованием на стеклянном пористом фильтре. Оставшийся на стенках колбы налет белого фосфора обработайте бромной водой.

Для получения фосфорноватистой кислоты растворите в стакане полученный моногидрат гипофосфита натрия из расчета 1 г вещества на 15 мл воды и добавьте 25%-ный раствор серной кислоты (1,2 мл на 1 г гипофосфита). Полученную смесь оставьте на ночь.

Декантируйте раствор с осадка и профильтруйте на воронке Бюхнера через плотный бумажный фильтр в сухую и чистую колбу Бунзена. Фильтрат осторожно упарьте на песчаной бане в вытяжном шкафу, пока температура раствора не повысится до 105—110 °С. Следите, чтобы жидкость не кипела, в этом случае возможно разложение фосфорноватистой кислоты с воспламенением продуктов реакции. Охладите чашку с раствором в смеси льда с водой. Выпавшие кристаллы отделите на стеклянном пористом фильтре в токе азота и взвесьте. Рассчитайте выход в процентах относительно взятого количества фосфора. Подтвердите химическим путем получение фосфорноватистой кислоты. Напишите уравнения реакций.



ГЛАВА 37

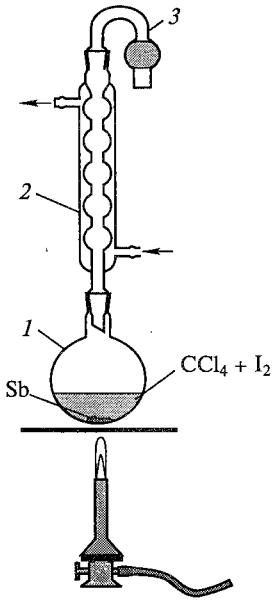
СУРЬМА, ВИСМУТ

37.1. Триодид сурьмы

Соберите прибор (рис. 141). В колбу 1 поместите 0,2—0,3 г тонкоизмельченной сурьмы и свежезовозгнанный иод с недостатком 10 % от стехиометрического количества. Прилейте 50 мл сухого тетрахлорида углерода. Нагрейте реакцию смесь в колбе 1 газовой горелкой через асбестовую сетку. Синтез

Рис. 141. Прибор для получения SbI_3 ;

1 — колба круглодонная; 2 — шариковый холодильник; 3 — хлоркальциевая трубка



ведите при слабом кипении растворителя примерно 1,5—2 ч до исчезновения малиновой и появления оранжево-желтой окраски раствора, свидетельствующей об окончании реакции. Возможно образование кристаллов на стенках колбы. По завершении взаимодействия оставьте раствор охлаждаться, не разбирая прибора.

Для извлечения из колбы прилипших к стенкам колбы кристаллов и отделения их от остатков непрореагировавшей сурьмы разберите прибор и перенесите колбу 1 в вытяжной шкаф. Нагрейте раствор в колбе почти до кипения и декантируйте в стакан. Стакан с раствором охладите в бане со льдом. При охлаждении выпадают кристаллы трииодида сурьмы. Маточный раствор из стакана перелейте обратно в реакционную колбу и еще раз нагрейте почти до кипения для растворения оставшихся кристаллов. Эту операцию повторяйте до полного извлечения иодида сурьмы из колбы (непрореагировавшая сурьма должна остаться в колбе). Выпавшие кристаллы отфильтруйте на стеклянном пористом фильтре. Промойте осадок на фильтре 5 мл сухого, охлажденного во льду тетраоксида углерода. Вещество высушите на воздухе, перенесите во взвешенный бюкс, взвесьте и рассчитайте выход относительного взятого количества сурьмы.

К небольшой части препарата в пробирке добавьте несколько капель воды и нагрейте. Что происходит? Как меняется цвет осадка? Определите pH раствора. К части раствора над осадком добавьте одну—две капли раствора нитрата серебра. Отметьте цвет выпавшего осадка. Напишите уравнения реакций.

ГЛАВА 38

УГЛЕРОД, КРЕМНИЙ

38.1. Хлороформ

Для получения хлороформа используется реакция окисления ацетона хлорной (белильной) известью. При отсутствии свежей белильной извести рекомендуется приготовить ее самостоятельно.

Получение хлорной извести. Соберите в вытяжном шкафу прибор для получения хлора, изображенный на рис. 60 (см. подразд. 11.1). Поместите в химический стакан 30 г чистой гашеной извести и добавьте 50—60 мл воды, смесь тщательно перемешайте. Поставьте стакан в баню со льдом и пропустите через смесь хлор, очищенный от хлороводорода при постоянном перемешивании стеклянной палочкой. По уравнению реакции рассчитайте количество хлора, вступающего во взаимодействие с гидроксидом кальция и определя-

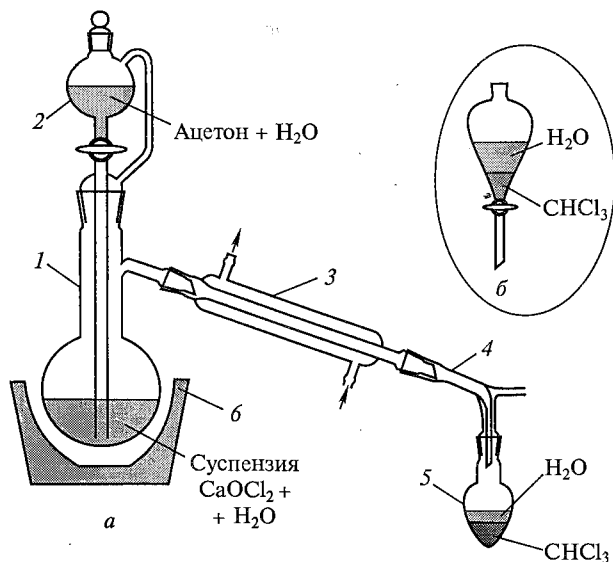


Рис. 142. Прибор для получения хлороформа:

а — синтез; б — отделение хлороформа на делительной воронке; 1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — холодильник; 4 — аллонж; 5 — колба-приемник; 6 — колбонагреватель

те полноту его поглощения периодическим взвешиванием стакана с реакционной смесью.

Получение хлороформа. Соберите в вытяжном шкафу прибор (рис. 142, а). Перенесите свежую мелкодисперсную хлорную известь в колбу Вюрца 1 прибора и прилейте 75 мл воды. В капельную воронку 2 поместите смесь 10 мл ацетона с 10 мл воды. Конiec капельной воронки должен быть ниже уровня жидкости в колбе. В колбу-приемник 5 налейте 10 мл воды, чтобы предохранить полученный хлороформ от испарения и обеспечить его очистку от ацетона.

В колбу Вюрца 1 по каплям вводите ацетон, нагревая колбу с помощью колбонагревателя 6. Если реакция протекает слишком бурно и реакционная смесь может переброситься в приемник, то прекратите нагревание колбы (отодвиньте колбонагреватель).

По окончании опыта отделите хлороформ от воды с помощью делительной воронки (рис. 142, б) и перегоните в приборе для фракционной перегонки. Отметьте температуру кипения хлороформа.

Взвесьте приемник с полученным веществом и рассчитайте выход в процентах по отношению к взятому количеству ацетона.

38.2. Силикохлороформ

Соберите в вытяжном шкафу прибор (рис. 143). Реактор 5 установите с небольшим наклоном в сторону приемника-пробирки 8. В колбу Вюрца 1 поместите 30 г хлорида натрия и смочите 5 мл концентрированной соляной кислоты, в капельную воронку 2 налейте концентрированную серную кислоту. Промывалки 3, 4 и 11 заполните концентрированной серной кислотой.

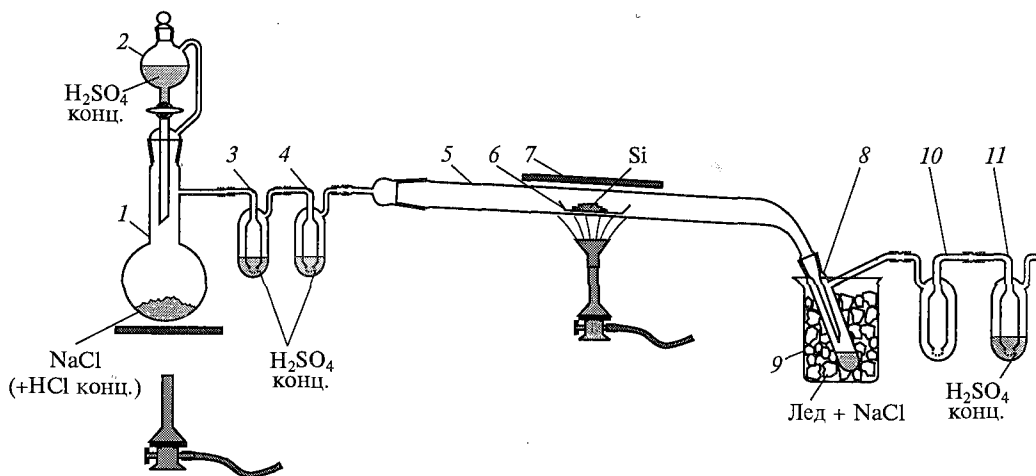


Рис. 143. Прибор для получения силикохлороформа:

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3, 4, 11 — промывалки с H_2SO_4 (конц.); 5 — реактор; 6 — лодочка с кремнием; 7 — асбестовый экран «домик»; 8 — приемник-пробирка Вюрца; 9 — баня с охлаждающей смесью; 10 — предохранительная промывалка

Взвесьте 1,0 г кристаллического кремния, измельчите его в фарфоровой ступке, перенесите в фарфоровую лодочку 6 и поместите ее в кварцевый реактор 5. Приемник 8 охладите смесью льда с хлоридом натрия. Осторожно приоткройте кран капельной воронки и, добавляя по каплям серную кислоту к хлориду натрия, заполните прибор сухим хлороводородом. Нагрейте лодочку с кремнием в токе хлороводорода горелкой с насадкой «ласточкин хвост», поместив над зоной нагрева экран 7 из листа асбеста («домик»). Ток хлороводорода отрегулируйте по скорости пробулькивания через промывалку 11 (один—два пузырька в секунду).

После окончания реакции и конденсации жидкости в приемнике 8, охлаждаемом смесью льда и хлорида натрия, отключите горелку и охладите реактор 5 в токе хлороводорода. Отсоедините приемник от реактора.

Определите температуру кипения силикохлороформа (см. подразд. 4.8) с использованием прибора для микроперегонки (см. рис. 42). Перегоняемую жидкость осторожно подогрейте в стакане с горячей водой, следя за ее кипением.

Небольшое количество силикохлороформа осторожно прилейте к воде. Что наблюдаете? Определите pH раствора. Напишите уравнения реакций.

38.3. Тетрахлорид кремния

Соберите в вытяжном шкафу прибор (рис. 144). Реактор 6 установите с небольшим наклоном в сторону пробирки Вюрца — приемника 9. Все части прибора должны быть тщательно высушены. В колбу Вюрца 1 поместите 20 г измельченного перманганата калия и смочите его небольшим количеством воды. В капельную воронку 2 налейте 30 мл концентрированной соляной кислоты.

В фарфоровой ступке мелко измельчите 0,8—1 г кристаллического кремния, пересыпьте в лодочку 7 (фарфоровую или кварцевую) и поместите в

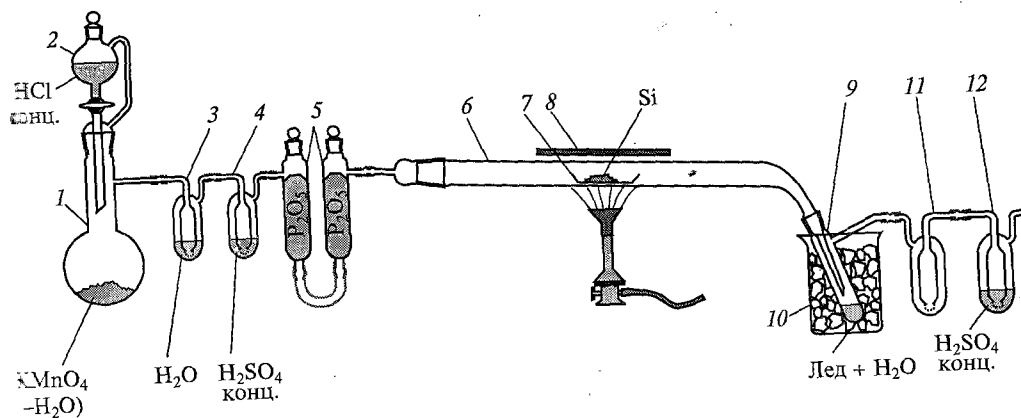


Рис. 144. Прибор для получения тетрахлорида кремния:

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — промывалка с водой; 4, 12 — промывалки с H_2SO_4 конц.; 5 — осушительные колонки; 6 — реактор; 7 — лодочка; 8 — асбестовый экран «домик»; 9 — приемник-пробирка Вюрца; 10 — баня с охлаждающей смесью; 11 — предохранительная промывалка

реактор 6. Вытесните воздух из прибора током сухого хлора. Не прекращая пропускать хлор, нагрейте реактор горелкой с насадкой «ласточкин хвост» в том месте, где находится лодочка, поместив над зоной нагрева экран из листа асбеста («домик») 8. Ток хлора отрегулируйте по скорости пробульживания через промывалку 12 (1—2 пузырька в секунду). Жидкий тетрахлорид кремния собирается в приемник-пробирку Вюрца 9, охлаждаемый смесью льда с водой 10. По окончании выделения тетрахлорида кремния выключите горелку и охладите реактор 6 в токе хлора.

Перегоните (в вытяжном шкафу!) полученный тетрахлорид кремния над свежевосстановленными медными стружками (медные стружки добавьте к перегоняемой жидкости) в приборе для микроперегонки (рис. 42) и отметьте температуру кипения (см. подразд. 4.8).

Перегнаный тетрахлорид кремния быстро перенесите во взвешенную оттянутую пробирку и запаяйте, оставив в приемнике небольшое количество для качественных реакций. Рассчитайте выход в процентах.

Оставшееся в приемнике вещество внесите по каплям в небольшое количество воды (в вытяжном шкафу!). Что наблюдаете? Определите pH раствора. Каковы продукты гидролиза тетрахлорида кремния? Напишите уравнения реакций.

ГЛАВА 39

ОЛОВО, СВИНЕЦ

39.1. Тетраиодид олова

Соберите прибор (см. рис. 141) (см. синтез трииодида сурьмы, подразд. 37.1). Поместите 1,0 г нарезанного олова и свежевозогнаный иод, взятый с 10%-ным

недостатком от стехиометрического количества, в круглодонную колбу 1. Прилейте 50 мл сухого тетрахлорида углерода.

Нагрейте до кипения реакционную смесь в круглодонной колбе газовой горелкой через асбестовую сетку. Нагревание смеси ведите в течение 1,5—2 ч до окончания взаимодействия, следя за тем, чтобы кипение растворителя не было очень бурным. Завершение реакции характеризуется исчезновением малиновой и появлением коричнево-оранжевой окраски раствора. Оставьте раствор охлаждаться, не разбирая прибора.

После охлаждения раствора разберите прибор и перенесите колбу 1 в вытяжной шкаф. Нагрейте раствор в колбе почти до кипения (не кипятите!) и декантируйте в фарфоровую чашку. Раствор в чашке оставьте в вытяжном шкафу до полного испарения тетрахлорида углерода. Сухое вещество перенесите в бюкс, определите его массу и рассчитайте выход в процентах относительно взятого количества олова.

К небольшой части препарата в пробирке добавьте несколько капель воды и нагрейте. Что происходит? Как меняется цвет осадка? Определите pH раствора. К части раствора над осадком добавьте 1—2 капли раствора нитрата серебра. Отметьте цвет выпавшего осадка. Напишите уравнения реакций.

39.2. Тетраацетат свинца

Соберите прибор (рис. 145). В трехгорлую колбу 1 внесите 15 мл дважды вымороженной ледяной уксусной кислоты и 17 мл свежеперегнанного уксусного ангидрида. В изогнутый «палец» 5 поместите 5,0 г предварительно высушенного при 200 °С в течение 2,5 ч свинцового сурика. Колбу 1 и нагреватель магнитной мешалки закройте теплоизолирующим экраном 2 из асбестовой или стеклянной ткани. Включите мешалку 3 с перемешивающим стержнем 4.

Смесь в колбе нагрейте до 40 °С. Затем при энергичном перемешивании внесите в колбу 1 небольшими порциями сурик, поворачивая «палец» 5 в шлифе вокруг оси. Сурик вносите с такой скоростью, чтобы температура внутри колбы не повышалась выше 60 °С. При перегреве снимите часть экрана и, если

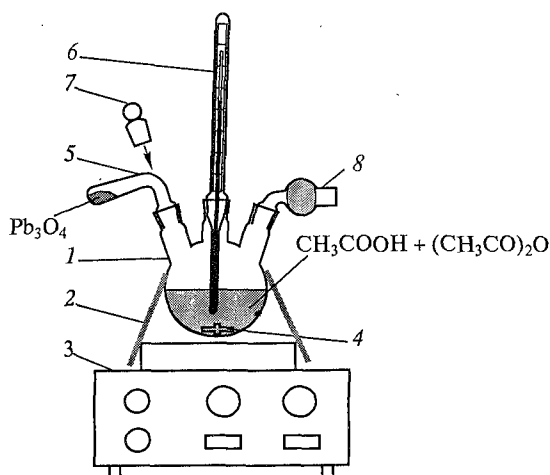


Рис. 145. Прибор для получения тетраацетата свинца:

1 — колба трехгорлая; 2 — теплоизолирующий экран; 3 — магнитная мешалка с нагревателем; 4 — перемешивающий стержень; 5 — «палец»; 6 — термометр; 7 — стеклянная пробка; 8 — хлоркальциевая трубка

необходимо, охладите колбу в бане с холодной водой. Замените «палец» 5 стеклянной пробкой 7. При непрерывном перемешивании поддерживайте температуру реакционной смеси 60°C до полного растворения сурика.

После растворения всего сурика снимите колбу 1 с магнитной мешалки и охладите до 0°C в бане со льдом. Выньте термометр 6 и хлоркальциевую трубку 7. Выпавшие игольчатые кристаллы вместе с маточным раствором перенесите через боковое горло колбы на стеклянный пористый фильтр и отфильтруйте в сухой инертной атмосфере (см. подразд. 4.4), промойте 5 мл уксусного ангидрида и высушите на фильтре в слабом токе инертного газа. Полученные кристаллы быстро перенесите в заранее взвешенный бюкс и определите массу полученного вещества. Рассчитайте выход в процентах.

Небольшое количество вещества смочите водой. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

39.3. Гексахлороплюмбат аммония

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рис. 146. Газоподводящая трубка 4 должна доходить почти до дна реактора 5. Поместите 15 г разотртого перманганата калия в колбу Вюрца 1 и смочите его небольшим количеством воды, а в капельную воронку 2 налейте концентрированную соляную кислоту. Промывалки 3 и 6 заполните водой.

Разотрите в фарфоровой ступке 1,5 г хлорида свинца(II) в 5 мл концентрированной соляной кислоты (*в вытяжном шкафу!*). Образовавшуюся суспензию слейте в реактор 5. Оставшийся в ступке осадок вновь разотрите в 5 мл концентрированной соляной кислоты, полученную смесь также перенесите в реактор 5.

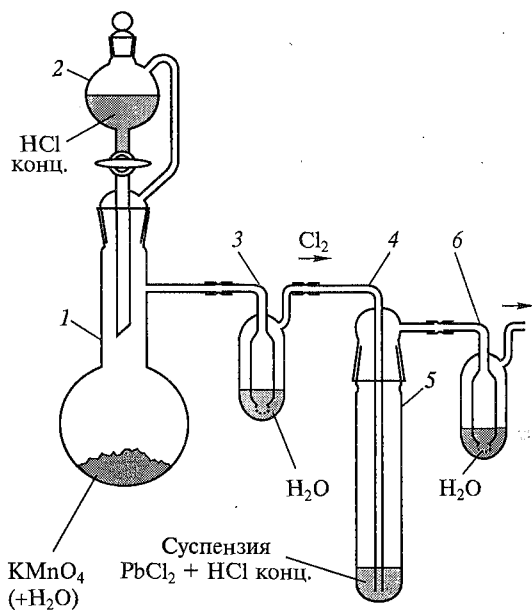


Рис. 146. Прибор для получения гексахлорсвинцовой кислоты:

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3, 6 — промывалки; 4 — газоподводящая трубка; 5 — реактор

Осторожно приоткройте кран капельной воронки 2 и, приливая по каплям соляную кислоту к перманганату калия, пропускайте ток хлора через реактор 5 до приобретения раствором характерной желтой окраски и полного растворения осадка хлорида свинца(II). Полученный раствор перенесите в химический стакан. Приготовьте раствор 2,0 г хлорида аммония в 20 мл воды и прилейте к содержимому стакана. Стакан с раствором охладите до 0 °С в бане со льдом. Если кристаллы сразу не выпадают, потрите стенку стакана под раствором стеклянной палочкой.

Выпавшие желтые кристаллы отфильтруйте на стеклянном пористом фильтре, промойте двумя порциями по 5 мл охлажденного до 0 °С этанола и высушите на фильтре при включенном насосе. Перенесите вещество в бюкс и взвесьте. Рассчитайте выход в процентах.

Небольшое количество кристаллов поместите в пробирку с водой и добавьте несколько капель 1 М раствора гидроксида натрия. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

ГЛАВА 40

БОР

40.1. Трибромид бора

Соберите в вытяжном шкафу прибор (рис. 147). В сухой камере разотрите и смешайте в фарфоровой ступке 27 г безводного трибромида алюминия и 6,5 г

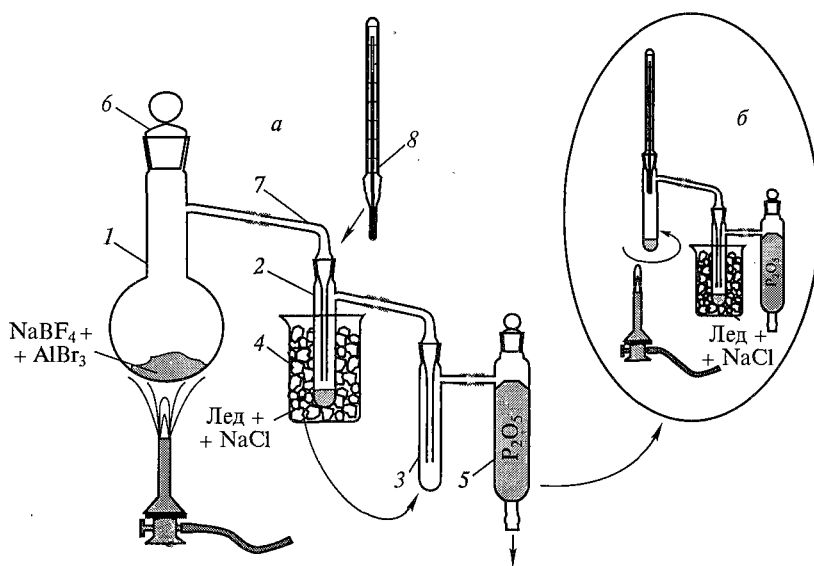


Рис. 147. Прибор для получения трибромида бора:

a — синтез; *б* — перегонка; 1 — колба Вюрца; 2, 3 — приемники; 4 — баня с охлаждающей смесью; 5 — осушительная колонка; 6 — стеклянная пробка; 7 — газоподводящая трубка; 8 — термометр

тетрафторбората натрия. Смесь перенесите в колбу Вюрца 1 и закройте стеклянной пробкой 6. Поместите приемник 2 в баню 4 с охлаждающей смесью льда с хлоридом натрия.

Осторожно нагрейте колбу Вюрца 1 пламенем газовой горелки. После того, как прекратится отгонка трибромида бора, преобразуйте прибор для синтеза (см. рис. 147, а) в прибор для перегонки (рис. 147, б). Для этого перенесите охлаждающую смесь с приемника 2 на приемник 3. Отсоедините приемник 2 от колбы Вюрца 1, выньте газоподводящую трубку 7 и замените ее на термометр 8.

Перегоните трибромид бора (см. рис. 147, б), осторожно нагревая пробирку Вюрца с веществом. Отметьте температуру кипения трибромида бора и сравните со значением, указанным в справочнике. Перенесите полученное вещество во взвешенную пробирку с пробкой, определите его массу и рассчитайте выход в процентах относительно массы взятого трибромида алюминия.

Несколько капель трибромида бора внесите в небольшое количество воды. Определите pH полученного раствора. Каковы продукты гидролиза трибромида бора? Напишите уравнения реакций.

40.2. Аммиакат трифторида бора

Соберите в вытяжном шкафу прибор (рис. 148). Реакционную трехгорлую колбу 5 поместите в баню со льдом 6. Для получения аммиака в колбу Вюрца 1 поместите твердый гранулированный гидроксид натрия (калия). В капельную воронку 2 налейте концентрированный раствор аммиака.

Для получения трифторида бора поместите 25 г фторбората калия и 4,5 г триоксида бора в колбу Вюрца 10. Прилейте к смеси 25 мл безводной серной кислоты. (*Осторожно! Используйте очки и двойные резиновые перчатки!*) Без-

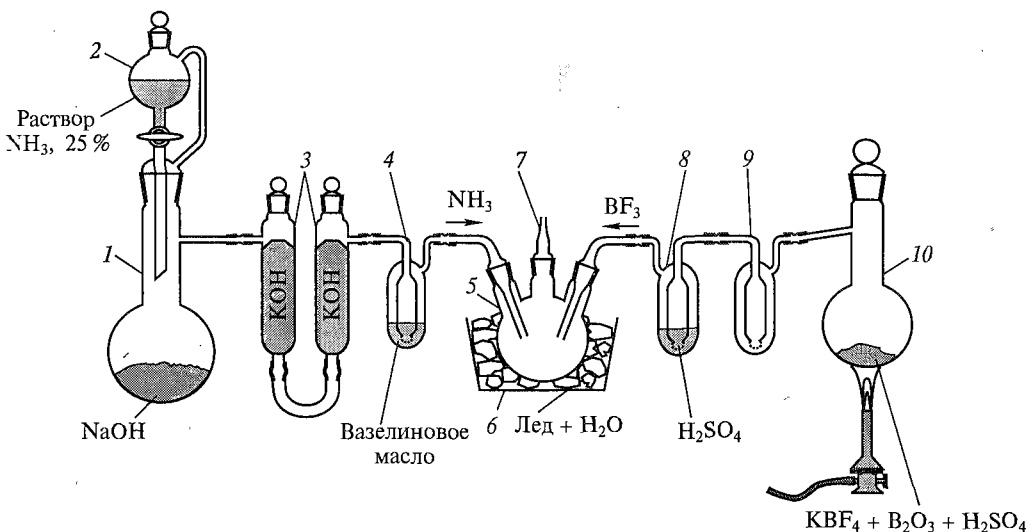


Рис. 148. Прибор для получения аммиаката трифторида бора:

1, 10 — колбы Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — осушительные колонки; 4 — промывалка с вазелиновым маслом; 5 — колба трехгорлая; 6 — баня с охлаждающей смесью; 7 — выходной патрубок; 8 — промывалка с безводной серной кислотой; 9 — предохранительная промывалка

водную серную кислоту приготовьте добавлением соответствующего количества серного ангидрида (см. подразд. 34.5) к 96%-ному раствору серной кислоты. Промывалку 8 заполните также безводной серной кислотой.

Перед началом синтеза вытесните воздух из прибора сильным током аммиака. Затем пропускайте аммиак и трифторид бора с одинаковой скоростью.

Аммиакат трифторида бора оседает на стенках колбы 5 в виде объемистого рыхлого порошка. Во избежание закупорки трубок, подводящих газы, диаметры их должны быть не менее 7—8 мм. Половину полученного вещества соберите в оттянутую пробирку и запаяйте.

Испытайте отношение аммиаката трифторида бора к воде. Растворите аммиакат трифторида бора в минимальном количестве воды и упарьте на водяной бане почти досуха. Охладите раствор. Выделившиеся кристаллы отфильтруйте на стеклянном пористом фильтре, высушите на воздухе и рассмотрите под микроскопом. Напишите уравнения реакций.

ГЛАВА 41

ЩЕЛОЧНЫЕ И ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

41.1. Получение цезия (рубидия)

Цезий (рубидий) получают из карбоната металлотермическим восстановлением в вакууме с использованием циркония.

(Опыт проводите в защитной маске и в присутствии преподавателя!)

Соберите прибор (рис. 149). Рассчитайте количество карбоната цезия (рубидия), необходимое для получения 5 г металла. Навеску карбоната тщательно

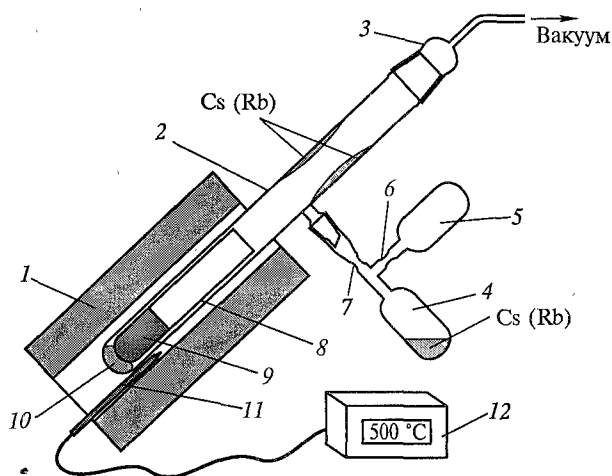


Рис. 149. Прибор для получения цезия (рубидия):

1 — печь; 2 — реактор; 3 — крышка реактора; 4, 5 — ампулы-приемники; 6, 7 — перетяжки для отпайки; 8 — стальной вкладыш; 9 — смесь исходных реагентов; 10 — минеральная вата (асбест); 11 — термопара; 12 — цифровой термометр

перетрите в ступке с четырехкратным избытком порошка циркония и поместите в стальной вкладыш 8.

Осторожно вставьте стальной вкладыш 8 с исходным реагентом 9 в кварцевый реактор 2, предварительно поместив на дно реактора немного минеральной ваты или кусочек асбеста 10. Смажьте шлиф кварцевого реактора 2 тонким слоем вакуумной смазки, закройте стеклянной крышкой 3 и поверните крышку несколько раз вокруг ее оси для равномерного распределения смазки. Правильно смазанный шлиф должен быть прозрачным, вакуумная смазка — не выступать из зазора, а крышка реактора — вращаться без трения.

Подсоедините реактор к вакуумной системе (см. рис. 118, очистка сублимацией в вакууме) и включите насос. По достижении вакуума порядка 10^{-2} — 10^{-3} мм рт. ст. включите печь 1. Постепенно повысьте температуру в печи до 500°C . Вакуум при этом ухудшается. Выдержите прибор в этих условиях до установления вакуума 10^{-2} — 10^{-3} мм рт. ст., что свидетельствует об удалении паров воды и газов из реактора. Осторожно, во избежание выброса реакционной смеси, повысьте измеряемую термопарой 11 с цифровым термометром 12 температуру в печи до 650 — 700°C . При этом жидкий цезий (рубидий) конденсируется в холодной части реактора 2 и стекает в ампулу-приемник 4. Печь нагревайте до тех пор, пока весь выделившийся металл не соберется в ампуле 4, затем перепаяйте перетяжку 7 и отделите ампулы 4 и 5 от реактора.

Полученный цезий (рубидий) очистите дополнительной перегонкой. Для этого закрепите ампулы в штативе (в вытяжном шкафу! Наденьте защитную маску!) над металлическим поддоном с песком и осторожно нагрейте металл в ампуле 4 газовой горелкой до начала кипения и медленно, за $\sim 0,5$ ч, перегоните в ампулу 5. По окончании перегонки перепаяйте перетяжку 6 и отделите ампулу с веществом 5 от пустой ампулы 4.

41.2. Гидрид лития (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 (рис. 150). Для получения водорода воспользуйтесь большим свежезаряженным аппаратом Киппа 1.

В промывалку 2 налейте подкисленный раствор перманганата калия или 20%-ный раствор щелочи, а в промывалку 10 (счетчик пузырьков) — вазелиновое масло. Осушительную колонку 3 заполните гранулированным хлоридом кальция, а колонку 4 — стеклянной ватой, смешанной с оксидом фосфора(V). В фарфоровую реакционную трубку 5 вставьте железную трубку 6 и железную лодочку 8 с 1,0 г свеженарезанного и очищенного от керосина металлического лития (1,0 г стружек кальция).

Убедитесь в герметичности прибора. Для этого закройте зажим 11 и откройте полностью кран аппарата Киппа. Через все промывалки, по крайней мере в течение 30 с, не должно пробулькивать ни одного пузырька газа. После проверки прибора на герметичность откройте зажим 11, вытесните током водорода воздух из прибора и проверьте на чистоту водород, выделяющийся из газотводной трубки 12. *(Проверяйте в присутствии преподавателя! Собранный в пробирку 13 чистый водород должен сгорать без свистящего звука.)*

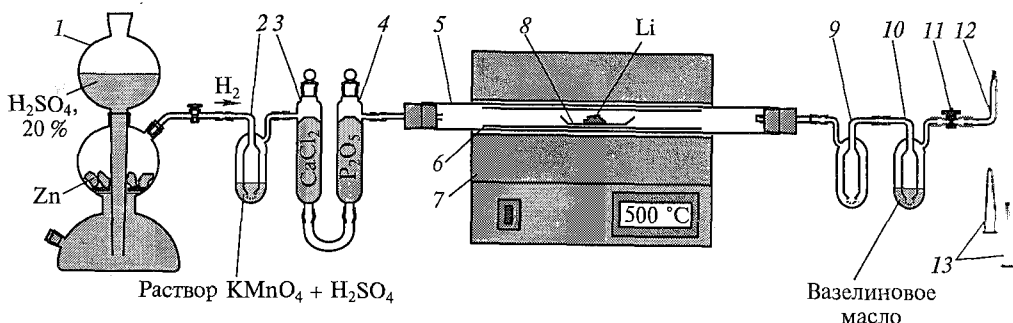


Рис. 150. Прибор для получения гидрида лития:

1 — аппарат Киппа; 2, 9, 10 — промывалки; 3, 4 — осушительные колонки; 5 — фарфоровая реакционная трубка; 6 — железная трубка; 7 — печь; 8 — железная лодочка; 11 — зажим; 12 — газоотводная трубка; 13 — пробирки для проверки водорода на чистоту

Закройте зажим 11 и откройте полностью кран аппарата Киппа. Нагрейте печь 7 до 600—700 °С. При температуре, близкой к 500 °С, начинается взаимодействие лития с водородом. После прекращения поглощения водорода охладите реактор в атмосфере водорода до комнатной температуры. Извлеките лодочку из трубки, перенесите полученное вещество в бюкс, определите его массу и выход в процентах. Испытайте отношение гидрида лития (кальция) к воде. Напишите уравнения реакций.

41.3. Пероксид лития

Синтез осуществляется в две стадии: вначале получают моногидрат пероксида лития, а затем проводят его дегидратацию нагреванием в вакууме.

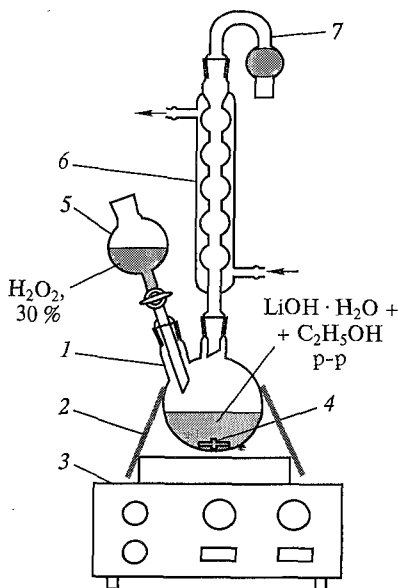


Рис. 151. Прибор для получения пероксида лития

1 — колба двугорлая; 2 — теплозащитный экран; 3 — магнитная мешалка; 4 — перемешивающий стержень; 5 — капельная воронка; 6 — шариковый холодильник; 7 — хлоркальциевая трубка

Получение моногидрата пероксида лития. Соберите на лабораторном столе прибор, изображенный на рис. 151. Поместите 1,0 г моногидрата гидроксида лития в колбу 1 и прилейте к нему 50 мл этилового спирта. Колбу 1 и нагреватель магнитной мешалки 3 закройте теплозащитным экраном 2 из асбестовой или стеклянной ткани. Включите магнитную мешалку 3 с перемешивающим стержнем 4 и при непрерывном перемешивании нагрейте реакционную смесь до кипения. Добавьте по каплям в кипящую жидкость 20 мл 30%-ного раствора пероксида водорода из капельной воронки 5 и продолжайте перемешивать смесь при нагревании в течение часа.

Охладите колбу до комнатной температуры, осадок вместе с маточным раствором перенесите через боковое горло колбы 1 на стеклянный пористый фильтр и отфильтруйте. Кристаллы моногидрата пероксида лития перенесите в заранее взвешенный бюкс и определите массу полученного вещества. Рассчитайте выход в процентах.

Получение безводного пероксида лития. Моногидрат пероксида лития поместите в пробирке в вакуумируемый реактор 1 (см. рис. 118). Подсоедините реактор к вакуумной системе, надвиньте печь 2 и медленно откачайте воздух из реактора 1, не допуская резких перепадов давления. Разогрейте печь до 100 °С и выдержите вещество в вакууме при этой температуре 30 мин, затем сдвиньте печь и охладите реактор до комнатной температуры. Выключите вакуумный насос и запустите воздух в реактор. Извлеките пробирку с веществом и перенесите безводный пероксид лития в заранее взвешенный бюкс, взвесьте и рассчитайте выход в процентах относительно гидрата пероксида лития.

Небольшое количество пероксида лития растворите в воде. Испытайте отношение этого раствора к подкисленным растворам перманганата калия и иодида калия. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

41.4. Получение безводного сульфида натрия из сульфата

(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.)

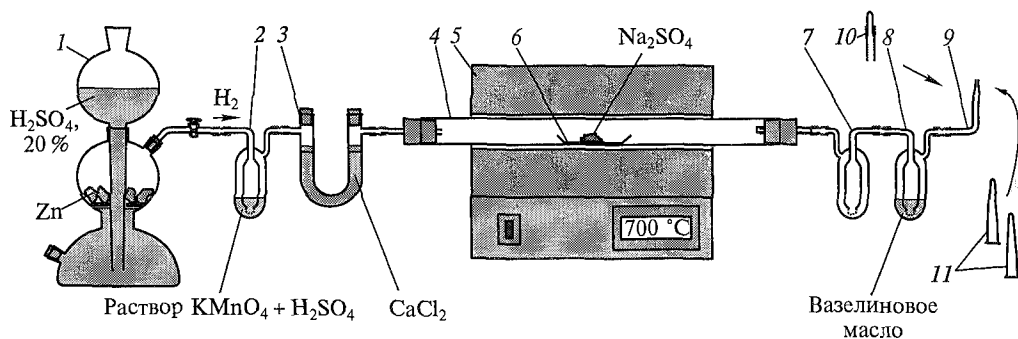


Рис. 152. Прибор для восстановления в токе водорода:

1 — аппарат Киппа; 2, 7, 8 — промывалки; 3 — U-образная трубка; 4 — кварцевая реакционная трубка; 5 — печь; 6 — алундовая лодочка; 9 — газоотводная трубка; 10 — отрезок трубки с пробкой для проверки прибора на герметичность; 11 — пробирки для проверки водорода на чистоту

Соберите прибор для восстановления в токе водорода (рис. 152). Лодочку с 1,0 г безводного сульфата натрия поместите в среднюю часть кварцевой реакционной трубки 4. Заполните прибор водородом и проверьте его герметичность. Для этого закройте выход из газоотводной трубки 9 и откройте полностью кран аппарата Киппа. Через все промывалки, по крайней мере в течение 30 с, не должно пробулькивать ни одного пузырька газа.

После того, как убедитесь в герметичности прибора, проверьте на чистоту выделяющийся из газоотводной трубки водород (*Проверяйте в присутствии преподавателя! Собранный в пробирку чистый водород должен сгорать практически без свистящего звука.*) и только после этого включите печь. Выходящий из газоотводной трубки водород не поджигайте.

Восстановление ведите в токе водорода при 600—700 °С в течение часа, затем охладите реактор в токе водорода до температуры, близкой к комнатной.

Полученный сульфид быстро перенесите во взвешенную пробирку с пробкой, взвесьте и рассчитайте выход в процентах. Напишите уравнение реакции.

41.5. Нитрид магния

Соберите в вытяжном шкафу прибор (рис. 153). В колбу Вюрца 1 поместите твердый гидроксид натрия в количестве не менее $\frac{1}{3}$ объема колбы (*используйте очки и перчатки!*). В капельную воронку 2 налейте 25%-ный раствор аммиака. Промывалки 3 и 9 (счетчики пузырьков) заполните вазелиновым маслом, осушительные колонки 4 — твердым гидроксидом калия.

Взвесьте фарфоровую лодочку 7 и поместите в нее 0,5 г стружек или порошка магния. Магний предварительно обработайте кратковременно раствором хлорида аммония, промойте спиртом и высушите на воздухе. Внесите лодочку 7 с магнием в кварцевый реактор 5.

Медленно приоткройте кран капельной воронки 2 и, добавляя по каплям раствор аммиака к твердой щелочи, заполните прибор газообразным аммиаком.

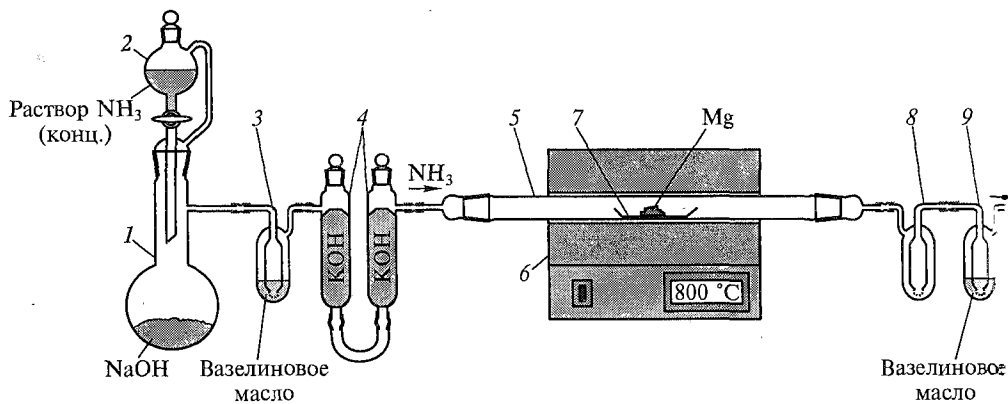


Рис. 153. Прибор для получения нитрида магния:

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3, 9 — промывалки-счетчики пузырьков; 4 — осушительные колонки; 5 — кварцевый реактор; 6 — трубчатая печь; 7 — лодочка с магнием; 8 — предохранительная промывалка

ком. Поток газа регулируйте по скорости пробулькивания в последней промывалке (1—2 пузырька в секунду). Включите печь 6, повысьте температуру до 500 °С и выдержите 1 ч при этой температуре. После завершения синтеза отключите печь и охладите реактор 5 в токе аммиака до комнатной температуры.

Извлеките лодочку из реактора, полученное вещество перенесите в заранее взвешенную пробирку, закройте пробкой и взвесьте. Рассчитайте выход в процентах от теоретически возможного.

Чтобы убедиться в полноте прохождения реакции, небольшое количество полученного препарата поместите в пробирку и добавьте 1—2 мл разбавленной (1:1) соляной кислоты. Если остался непрореагировавший магний, то должно наблюдаться выделение пузырьков газа. Пузырьки какого газа выделяются? Часть вещества поместите на часовое стекло и добавьте 2—3 капли концентрированного раствора щелочи. Какой газ выделяется? Другую часть вещества оставьте на воздухе. Что происходит с нитридом магния на воздухе? Напишите уравнения реакций.

ГЛАВА 42

АЛЮМИНИЙ, ТИТАН, ВАНАДИЙ

42.1. Трибромид алюминия (тетрабромид титана)

Соберите в вытяжном шкафу прибор (рис. 154, а). Конец капельной воронки 6 должен находиться ниже перетяжки реактора 7. Заполните промывалки 2 и 9 концентрированной серной кислотой. Осушительные колонки 3 заполните

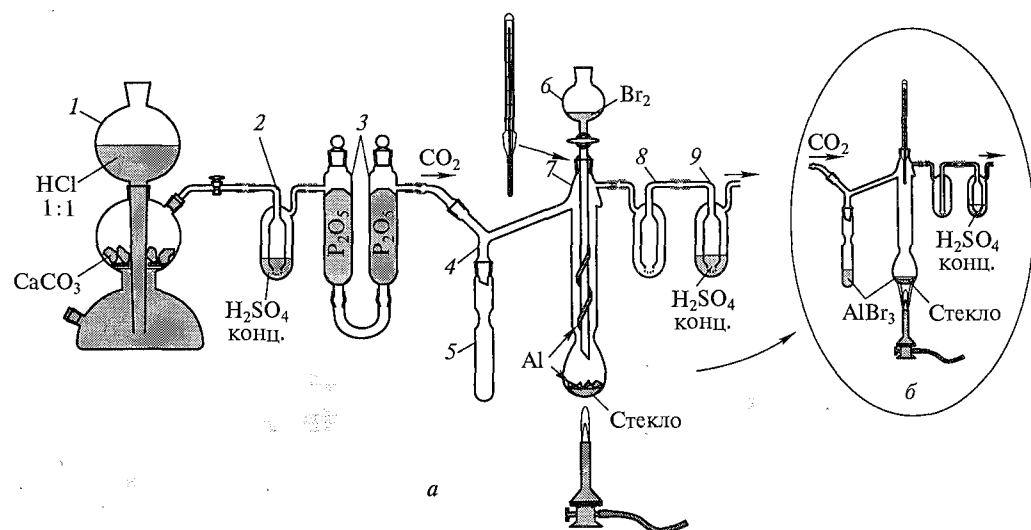


Рис. 154. Прибор для получения трибромид алюминия (тетрабромид титана):

a — синтез; *b* — перегонка; 1 — аппарат Киппа; 2, 9 — промывалки с серной кислотой; 3 — осушительные колонки; 4 — тройник; 5 — приемник; 6 — капельная воронка; 7 — реактор; 8 — предохранительная промывалка

оксидом фосфора(V) на стекловате (*используйте перчатки и очки!*). На дно реактора 7 поместите слой битого стекла толщиной около 5 мм. Стекло измельчайте (но не растирайте!) в фарфоровой ступке (*только в защитных очках!*) до частиц размером 3—5 мм.

Поместите в реактор 7 поверх измельченного стекла с помощью широкой и длинной воронки, доходящей почти до дна реактора, 4 г нарезанного в виде стружки металлического алюминия (титана). Поверхность алюминия предварительно обезжирьте спиртом. Нижнюю часть трубки капельной воронки оберните алюминиевой лентой (этот прием используйте только при синтезе трибромидов алюминия! Массу ленты в расчетах можно не учитывать). В капельную воронку 6 налейте бром в количестве 70 % от рассчитанного по уравнению реакции. (*Наденьте защитные очки и перчатки!*)

Заполните прибор сухим углекислым газом и установите слабый ток газа 1—2 пузырька в секунду. Дно реактора осторожно и равномерно прогрейте газовой горелкой. Затем приоткройте кран капельной воронки и медленно, по каплям, добавляйте бром к алюминию (титану). При замедлении реакции смесь подогрейте. Бром добавляйте с такой скоростью, чтобы его пары не уносились током углекислого газа из колбы и весь добавляемый бром вступал в реакцию.

После введения всего брома замените капельную воронку на термометр (рис. 154, б) и, сильно нагревая нижнюю часть реактора пламенем горелки, отгоните в заранее взвешенный приемник 5 (пробирка с перетяжкой) первую загрязненную бромом фракцию трибромида алюминия (тетрабромида титана). Затем уберите нагрев, смените приемник, нагрейте реактор вновь и отгоните в новый приемник оставшийся чистый трибромид алюминия (тетрабромид титана). Отметьте температуру перегонки трибромида алюминия (тетрабромида титана) и сравните со справочной величиной.

После окончания перегонки отсоедините приемник от прибора и перепаяйте перетяжку. Взвесьте отпаянную ампулу с веществом и оставшуюся часть пробирки. Рассчитайте выход в процентах, исходя из количества взятого брома.

42.2. Получение хлорида алюминия в кипящем слое

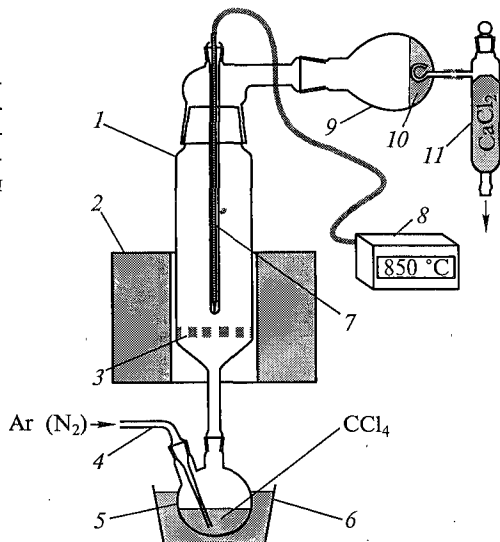
Соберите прибор (рис. 155). Поместите 25 г сухого порошка оксида алюминия на пористую перегородку 3 кварцевого реактора 1 и налейте 200—250 мл сухого тетрахлорида углерода в колбу 5. Пропустите по газоподводящей трубке 4 через тетрахлорид углерода и, соответственно, через реактор ток сухого азота с такой скоростью, чтобы над пористой перегородкой появился «факел» из оксида алюминия высотой 30—50 мм.

Надвиньте печь 2 и включите ее. Установите температуру в реакторе 850—900 °С. Подогрейте на водяной бане 6 колбу с тетрахлоридом углерода до 60—65 °С и наблюдайте за конденсацией хлорида алюминия в приемнике 9. Если в приемнике появилось синее или сине-черное окрашивание (объясните его происхождение), то снизьте температуру испарения тетрахлорида углерода до 50 °С.

По окончании хлорирования отсоедините приемник 9 с возогнанным продуктом реакции и закройте с двух сторон. Перенесите приемник в сухую каме-

Рис. 155. Прибор для получения хлорида алюминия в кипящем слое:

1 — реактор; 2 — печь; 3 — пористая перегородка; 4 — газоподводящая трубка; 5 — колба дьюара; 6 — баня водяная; 7 — термопара; 8 — термометр цифровой; 9 — приемник; 10 — стеклянная; 11 — осушительная колонка с хлоридом кальция



ру и пересыпьте полученное вещество во взвешенную сухую оттянутую пробирку. Извлеките пробирку из сухой камеры и запаяйте. Взвесьте ампулу с веществом и остатком пробирки. Рассчитайте выход в процентах. Напишите уравнение реакции.

42.3. Тетрахлорид титана (ванадия)

Соберите в вытяжном шкафу прибор (см. рис. 144). Реактор *б* установите с небольшим наклоном в сторону приемника *9*. Все части прибора должны быть тщательно высушены. В колбу Вюрца *1* поместите 20 г перманганата калия, смоченного 5 мл воды, а в капельную воронку *2* — 30 мл концентрированной соляной кислоты.

Внесите в реактор 0,5 г стружек металлического титана (порошка ванадия), помещенные в фарфоровую лодочку *7*. Вытесните воздух из прибора током сухого хлора. Нагрейте в токе хлора лодочку с веществом горелкой с насадкой «ласточкин хвост», поместив над зоной нагрева экран из листового асбеста *8* («домик»). После прекращения горения титана (взаимодействия ванадия) и конденсации тетрахлорида титана (ванадия) уберите горелку и охладите реактор в токе хлора.

Перегоните полученный тетрахлорид титана (ванадия) в приборе для микроперегонки (см. рис. 42). Отметьте температуру кипения полученного вещества и сравните ее со справочной величиной. Определите массу полученного вещества и рассчитайте выход в процентах.

Полученный тетрахлорид титана осторожно перелейте (*используйте защитные очки! только в вытяжном шкафу!*) в колбу с 10 мл концентрированной соляной кислоты. Напишите уравнение реакции.

Несколько капель вещества внесите в небольшое количество воды (*в вытяжном шкафу!*). Что наблюдаете? Определите pH раствора. Каковы продукты гидролиза тетрахлорида титана (ванадия)? Напишите уравнения реакций.

42.4. Оксотрихлорид ванадия

Поместите 5,0 г ванадата аммония в фарфоровый тигель. Прокалите вещество в вытяжном шкафу до постоянной массы в пламени газовой горелки при непрерывном перемешивании стеклянной палочкой. Должен получиться порошок оксида ванадия(V) красно-желтого цвета.

Соберите в вытяжном шкафу прибор (рис. 156, *a*). Поместите полученный оксид ванадия(V) в колбу Клайзена 1 и добавьте 10 мл свежеперегнанного хлорида тионила. Колбу закройте дефлегматором 2 с хлоркальциевой трубкой 3 и заглушкой 4. Нагрейте вещество в колбе газовой горелкой через асбестовую сетку до кипения. Кипятите с обратным холодильником (в данном случае роль обратного холодильника играет дефлегматор 2) 1,5—2,0 ч до приобретения раствором характерной желтой окраски оксотрихлорида ванадия, не допуская отгонки жидкости в заглушку. Выключите горелку и охладите вещество в приборе до комнатной температуры.

Замените заглушку 4 на холодильник Либиха и паук с двумя приемниками. Замените хлоркальциевую трубку 3 на термометр (рис. 156, *б*). Уберите асбестовую сетку. Отгоните хлорид тионила, а затем фракцию, кипящую при 126—127 °С, нагревая колбу пламенем горелки. Отсоедините приемник от прибора. Перенесите собранную жидкость во взвешенную оттянутую пробирку и запаяйте, оставив в приемнике 0,1—0,2 мл вещества для качественных реакций. Взвесьте ампулу с веществом и остаток пробирки. Рассчитайте выход в процентах.

Оставшуюся в приемнике жидкость прилейте по каплям к 5 мл воды. Будьте внимательны за взаимодействием. Что происходит? Определите pH раствора. Напишите уравнения реакций.

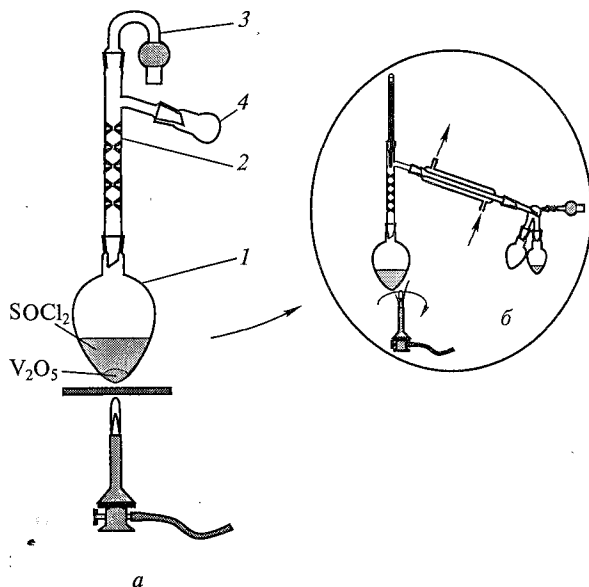


Рис. 156. Прибор для синтеза оксотрихлорида ванадия:

a — синтез; *б* — перегонка; 1 — колба Клайзена; 2 — дефлегматор; 3 — хлоркальциевая трубка; 4 — заглушка

42.5. Оксодихлорид ванадия

Соберите в вытяжном шкафу прибор (см. рис. 156). В колбу 1 внесите 0,2 г тонко растертой серы и 2,0 г оксотрихлорида ванадия, полученного ранее в подразд. 42.4. Колбу Кляйзена поместите на колбонагреватель и нагревайте в течение 1—2 ч при $130 \pm 5^\circ\text{C}$. Затем охладите вещество в приборе до комнатной температуры. Снимите заглушку 4 и подсоедините холодильник Либиха с шланжем, хлоркальциевой трубкой и приемником, а вместо хлоркальциевой трубки 3 поставьте термометр и отгоните в приемник оставшийся избыточный оксотрихлорид ванадия.

Вещество в колбе 1 промойте три—четыре раза сухим тетрахлоридом углерода порциями по 15—20 мл, энергично взбалтывая 3—5 мин. Колбу при этом закройте хлоркальциевой трубкой с осушителем. После испарения остатков тетрахлорида углерода сухой препарат пересыпьте во взвешенную пробирку, закройте пробкой и взвесьте. Рассчитайте выход в процентах по отношению к взятому количеству оксотрихлорида ванадия.

Часть полученного вещества растворите в холодной воде, часть — в разбавленном растворе гидроксида натрия, часть — в разбавленном растворе серной кислоты. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

42.6. Синтез безводного нитрата диоксованадия

Соберите в вытяжном шкафу прибор, изображенный на рис. 157. Разотрите совместно в фарфоровой ступке 17,5 г нитрата свинца и 5 г сухого кварцевого песка и поместите смесь в пробирку 1. Используемые вещества должны быть предварительно высушены при 120°C в колонках 2.

В реактор 3 с крышкой с отверстием для газоотводящей трубки 6 и хлоркальциевой трубкой 5 внесите 7 мл абсолютного ацетонитрила и 0,3—0,5 г тонко измельченного в фарфоровой ступке очищенного порошка ванадия. Реактор поместите в баню со льдом 4.

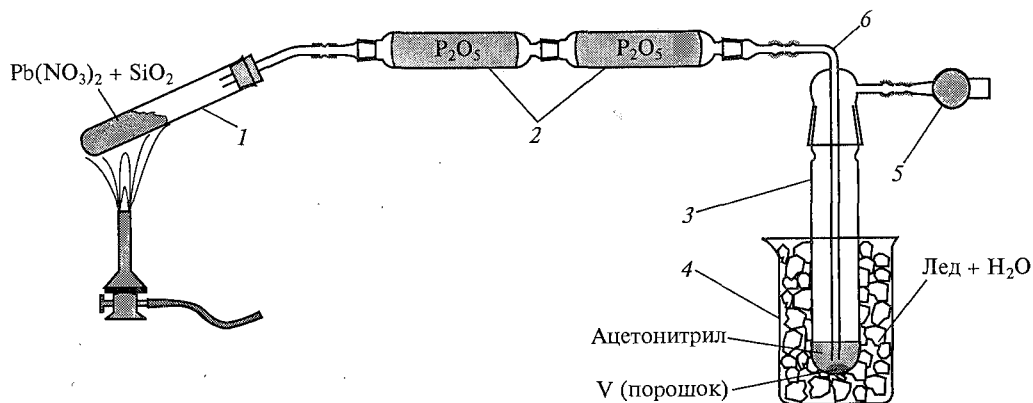


Рис. 157. Прибор для получения диоксида азота:

1 — пробирка из тугоплавкого стекла; 2 — колонки с оксидом фосфора(V); 3 — реактор; 4 — баня со льдом и водой; 5 — хлоркальциевая трубка; 6 — газоподводящая трубка

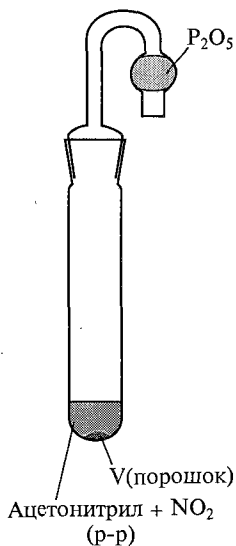


Рис. 158. Прибор для проведения реакции ванадия с диоксидом азота в среде ацетонитрила

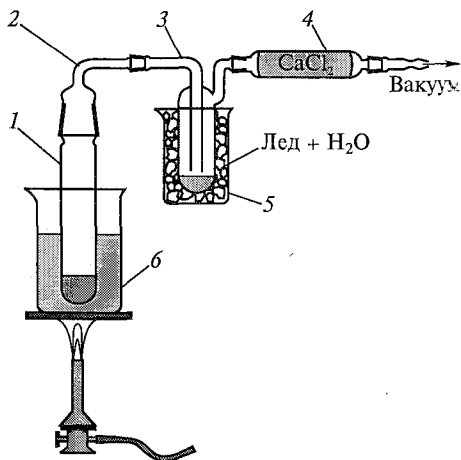


Рис. 159. Прибор для отгонки ацетонитрила
1 — реактор; 2 — Г-образная насадка; 3 — охлаждаемая ловушка (промывалка); 4 — колонка : хлоридом кальция; 5 — стакан со льдом и водой; 6 — водяная баня

Нагрейте пробирку 1 сильным пламенем горелки и грейте до окончания выделения диоксида азота. По окончании опыта замените крышку реактора на пробку с другой хлоркальциевой трубкой (рис. 158), заполненной оксидом фосфора(V) на стекловате, и оставьте на ночь в вытяжном шкафу.

На следующий день отгоните ацетонитрил в вакууме водоструйного насоса (рис. 159). Для этого замените в помещенном в стакан с водой реакторе 1 пробку с хлоркальциевой трубкой на Г-образную насадку 2, к которой присоедините охлаждаемую льдом ловушку 3 для конденсации ацетонитрила и колонку 4 с гранулированным хлоридом кальция. Присоедините прибор к водоструйному насосу и включите насос (*используйте очки!*). Нагрейте воду в стакане до кипения и отгоните весь ацетонитрил. Отрегулируйте режим отгонки так, чтобы вещество из реактора не перебрасывалось в вакуумную систему.

Полученный сухой препарат быстро перенесите в бюкс, взвесьте и рассчитайте выход в процентах. Отметьте цвет полученного вещества. Часть его растворите в воде, определите рН раствора. Напишите уравнения реакций.

42.7. Двойная соль сульфата калия и оксованадия(IV)

В стакан емкостью 50 мл поместите 0,7 г ванадата калия и растворите его при слабом нагревании в минимальном количестве воды. К полученному раствору добавляйте по каплям из капельной воронки 1н. раствор серной кислоты до рН = 5. Изменение рН раствора при добавлении кислоты контролируйте рН-метром или индикаторной бумагой. Дайте осадку отстояться и слейте раствор с осадка. Оставшийся в стаканчике осадок растворите в 4 мл 55%-ной серной кислоты и добавьте к раствору 3 мл этилового спирта.

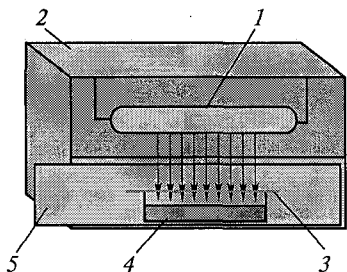


Рис. 160. Прибор для УФ-облучения раствора:

1 — УФ-лампа; 2 — корпус; 3 — кварцевая пластинка; 4 — кювета; 5 — выдвижная шторка

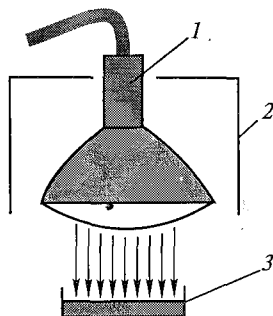


Рис. 161. ИК-лампа для упаривания раствора:

1 — ИК-лампа; 2 — защитный кожух; 3 — кювета

Перенесите раствор в широкую низкую кювету 4 и поместите под УФ-лампу 1, установленную в корпусе 2 прибора (рис. 160). Накройте кювету кварцевой пластиной 3, закройте шторку 5 облучателя и (*надев УФ-защитные очки!*) включите лампу. Смесь облучайте ультрафиолетовым светом до приобретения раствором чистой небесно-голубой окраски. Для контроля изменения окраски периодически (каждые 10 мин) извлекайте кювету, не отключая лампу (*в УФ-защитных очках*).

К полученному голубому раствору сульфата оксованадия(IV) добавьте раствор 40%-ного гидроксида калия в количестве, необходимом для образования двойной соли с соотношением сульфата калия к сульфату оксованадия 1:1 и 0,5 мл этилового спирта.

Поставьте кювету 3 со смесью под ИК-лампу 1 в защитном кожухе 2 (рис. 161). Упарьте смесь до появления первых кристаллов на поверхности раствора. Извлеките кювету из-под лампы и охладите вначале на воздухе до комнатной температуры, а затем в бане со льдом. Выпавшие кристаллы отфильтруйте на стеклянном пористом фильтре.

Промойте кристаллы на фильтре 1—2 мл этилового спирта и высушите на воздухе. Сухие кристаллы перенесите в заранее взвешенный бюкс, взвесьте и рассчитайте выход в процентах относительно исходного количества ванадата калия.

42.8. Гексафторованадат(III) аммония

(Водород горюч и в смеси с кислородом или воздухом взрывоопасен. Все опыты с водородом разрешается проводить только в маске и в присутствии преподавателя.)

Гексафторованадат(III) аммония получают взаимодействием оксида ванадия(III) с гидрофторидом аммония.

Получение оксида ванадия(III). Соберите прибор для получения оксида ванадия(III) путем разложения ванадата аммония в токе водорода (рис. 162).

Для получения водорода воспользуйтесь большим свежезаряженным аппаратом Киппа 1. В промывалку 2 налейте подкисленный раствор перманганата

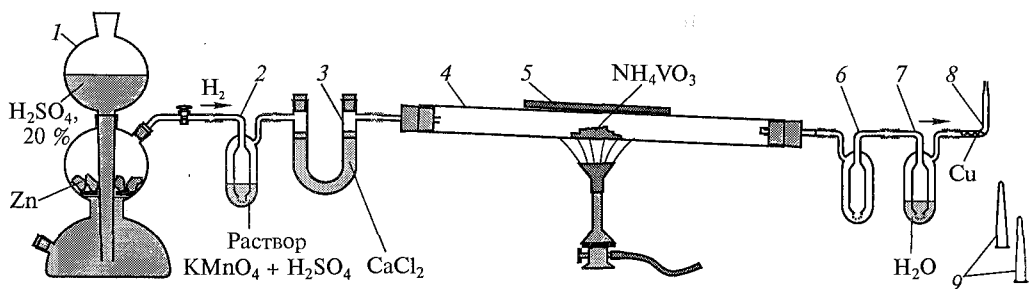


Рис. 162. Схема прибора для получения оксида ванадия(III):

1 — аппарат Киппа; 2 — промывалка с перманганатом калия; 3 — U-образная трубка; 4 — реактор; 5 — асбестовый экран («домик»); 6 — предохранительная промывалка; 7 — промывалка с водой; 8 — газоотводящая трубка; 9 — пробирки для проверки водорода на чистоту

калия или 20%-ный раствор щелочи, U-образную трубку 3 заполните гранулированным хлоридом кальция. В качестве счетчика пузырьков используйте промывалку 7 с водой.

Поместите 1,5 г ванадата аммония в кварцевую трубку 4. Проверьте прибор на герметичность. Для этого закройте выходное отверстие трубки 8 и откройте кран аппарата Киппа. Если через промывалки 2 и 7, по крайней мере в течение 30 с, не пробулькивает газ, то прибор герметичен.

Убедившись в герметичности прибора, проверьте на чистоту выделяющийся из газоотводной трубки 8 водород (*проверяйте в присутствии преподавателя. Собранный в пробирку 9 чистый водород должен сгорать практически без свистящего звука*) и только после этого включите печь. Выходящий из газоотводной трубки 8 водород не поджигайте.

После проверки водорода на чистоту зажгите горелку с насадкой «ласточкин хвост» и сильно нагрейте в токе водорода участок трубки с ванадатом аммония. Сверху над горелкой разместите кусочек листового асбеста 5. Следите за током водорода по скорости пробулькивания через промывалку 7 (1—2 пузырька в секунду). Восстановление ведите до полного разложения ванадата аммония (обычно 20—25 мин). По завершении реакции (Как установить, что реакция завершена?) отгоните сконденсировавшуюся в реакторе воду слабым пламенем горелки. Погасите горелку и охладите реактор 4 с веществом до комнатной температуры в токе водорода. Взвесьте полученный оксид ванадия(III).

Синтез гексафторованадата(III) аммония. (Проводите в вытяжном шкафу, надев защитные очки и перчатки, лучше всего в платиновой чашке или, в крайнем случае, в медной.) При использовании медной чашки предварительно очистите ее внутреннюю поверхность от оксидной пленки 24%-ным раствором соляной кислоты, промойте водой и осушите фильтровальной бумагой. Затем в чашку поместите небольшое количество (1—2 г) гидрофторида аммония, возьмите ее тигельными щипцами и нагрейте в пламени газовой горелки до расплавления гидрофторида аммония. Вращая чашку, равномерно распределите плав по внутренней поверхности (рис. 163).

Рассчитайте количество гидрофторида аммония, необходимое для получения гексафторованадата(III) аммония, возьмите его с избытком примерно в 2,5

таза по сравнению с рассчитанным и поместите в чашку. Оставьте чашку на песчаную баню и нагрейте до плавления вещества.

Внесите в расплав небольшими порциями оксид ванадия(III) при непрерывном перемешивании никелевым шпателем. Полученную смесь грейте, не прекращая перемешивания, при температуре $\sim 200^\circ\text{C}$ до окончания выделения паров гидрофторида аммония и образования серо-зеленого сыпучего порошка. При испарении избытка гидрофторида аммония плав начинает твердеть. Затвердевший плав периодически охлаждайте и растирайте в фарфоровой ступке, а затем вновь вносите в медную чашку. Не поднимайте температуру песчаной бани выше 200°C , так как в этих условиях возможно разложение и окисление образовавшегося продукта.

Полученное вещество охладите, взвесьте и рассчитайте выход в процентах по отношению к начально взятому количеству ванадата аммония. Небольшое количество полученного продукта растворите в воде. Отметьте цвет раствора. Проведите реакции, подтверждающие степень окисления ванадия (+3) в гексафторованадате аммония. Напишите уравнения реакций.

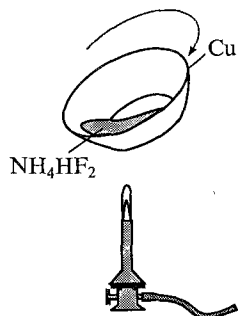


Рис. 163. Обработка внутренней поверхности медной чашки

ГЛАВА 43

ХРОМ

43.1. Ацетат хрома(II)

Соберите прибор (рис. 164). Заполните редуктор 1 на $\frac{1}{2}$ объема гранулированным цинком. В реактор 2 поместите насыщенный водный раствор ацетата натрия в количестве, превышающем стехиометрическое на 30 %.

В коническую колбу емкостью 50 мл поместите 2,5 г гидрата хлорида хрома(III). Растворите препарат в минимальном количестве воды. К полученному раствору добавьте равный объем концентрированной соляной кислоты. Раствор осторожно, не допуская бурного взаимодействия кислоты с цинком (*наденьте защитные очки!*), перенесите в редуктор 1. Редуктор закройте клапаном Бунзена 3. Восстановление хрома(III) ведите до характерного изменения окраски раствора от зеленой до небесно-голубой и прекращения выделения газа.

Откройте кран 4 и слейте раствор хлорида хрома(II) из редуктора в реактор. Если растворы ацетата натрия и хлорида хрома не смешались, то перемешайте их покачива-

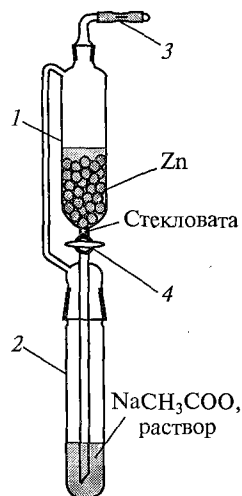


Рис. 164. Прибор для синтеза ацетата хрома:

1 — редуктор; 2 — реактор; 3 — клапан Бунзена; 4 — кран

нием реактора. Отделите выпавший осадок на воронке со стеклянным фильтрующим дном и промойте (по два—три раза) вначале водой, а затем последовательно спиртом и эфиром, не допуская контакта влажного вещества с воздухом (влажный ацетат хрома мгновенно окисляется на воздухе!).

Для этого фильтрование ведите «не досуха», следите, чтобы вещество все время находилось под 3—5-мм слоем жидкости, и только после последнего промывания эфиром фильтрование можно провести до конца.

Полученное вещество перенесите с фильтра на часовое стекло и досушите на воздухе до исчезновения запаха эфира, затем сразу же поместите в оттянутую взвешенную пробирку и запаяйте (в защитных очках!). Взвесьте ампулу с остатком пробирки, рассчитайте выход в процентах.

Оставшееся на фильтре вещество смочите небольшим количеством воды и наблюдайте за изменением окраски. Чем это объясняется? Напишите уравнения реакций.

43.2. Получение трихлорида хрома из оксида хрома(III)

Соберите в вытяжном шкафу прибор (рис. 165). В колбу Вюрца 1 поместите 30 г перманганата калия, а в капельную воронку 2 — концентрированную соляную кислоту. Заполните промывалки 4 и 10 концентрированной серной кислотой, а промывалку 5 — сухим тетрахлоридом углерода.

Приготовьте смесь, состоящую из 2,0 г оксида хрома(III) и 1,0 г древесного угля. Смесь тщательно перетрите в фарфоровой ступке и поместите (без лодочки!) в кварцевый реактор 6 с вкладышем 8. Медленно приоткройте кран капельной воронки 2 и, добавляя по каплям концентрированную соляную кислоту к перманганату калия, пропускайте ток хлора через кварцевый реактор 6. Хлор должен пробулькивать через все промывалки. Вытесните воздух из реактора током сухого хлора, включите печь 7 и повысьте температуру до 820 °С. Ток хлора (1—2 пузырька в секунду) отрегулируйте по скорости пробулькива-

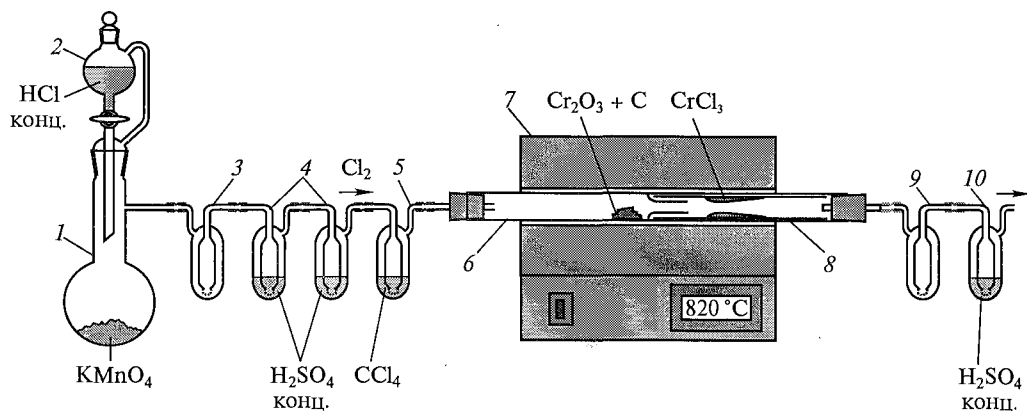


Рис. 165. Прибор для получения хлорида хрома(III):

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3, 9 — предохранительные промывалки; 4, 10 — промывалки с H_2SO_4 (конц.); 5 — промывалка с CCl_4 ; 6 — реактор кварцевый; 7 — печь; 8 — вкладыш

ния через промывалку 10. Хлорирование ведите 1 ч, затем отключите печь и охладите реактор в токе хлора.

Перенесите полученный хлорид хрома(III) в заранее взвешенный бюкс, взвесьте и определите выход в процентах. Рассмотрите полученные кристаллы под микроскопом, отметьте цвет и форму кристаллов.

43.3. Нитрид хрома(III)

Соберите в вытяжном шкафу прибор для получения нитридов в токе аммиака (см. рис. 153). Поместите в фарфоровую лодочку 0,3—0,5 г безводного хлорида хрома(III) и внесите в кварцевый реактор, установленный в трубчатой печи. Вытесните воздух из прибора сухим аммиаком и нагрейте печь до 600 °С. Нагревание в токе аммиака продолжайте 1 ч, затем выключите печь и охладите реактор, не прекращая пропускать газ. Извлеките лодочку с веществом и взвесьте полученный препарат. Рассчитайте выход в процентах. Напишите уравнение реакции.

Испытайте отношение нитрида хрома к воде и раствору щелочи на холоду и при нагревании. Часть нитрида прокалите в фарфоровом тигле на пламени горелки. Что при этом получается? Напишите уравнения реакций.

43.4. Сульфид хрома(III)

Соберите в вытяжном шкафу прибор (рис. 166). Осушительные колонки 4 заполните оксидом фосфора(V) на стекловате. В промывалки 3 и 9 (счетчики пузырьков) налейте вазелинового масла. В фарфоровую лодочку 7 поместите 0,3—0,5 г безводного хлорида хрома(III).

Вытесните из прибора воздух током сухого сероводорода и проверьте выделяющийся газ на чистоту (*сероводород с воздухом образует взрывоопасные смеси!*). Для этого к промывалке 9 подсоедините газоотводную трубку 10 и собери-

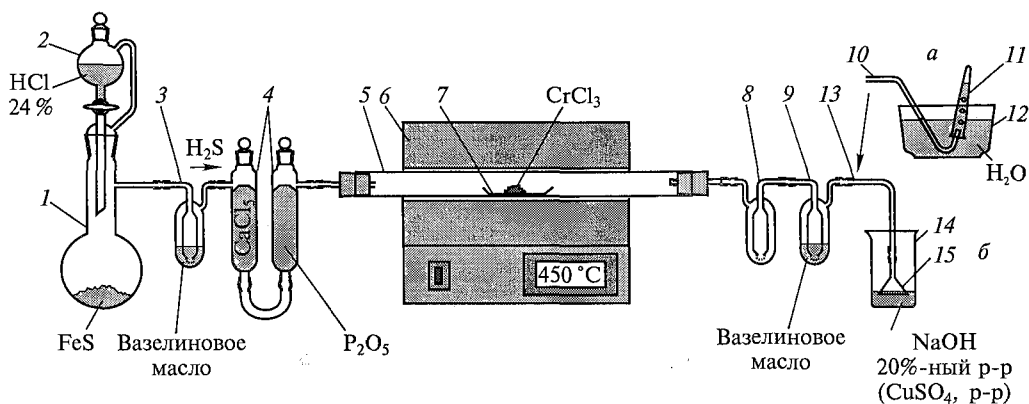


Рис. 166. Прибор для получения сульфида хрома(III):

a — проверка сероводорода на чистоту; *б* — синтез; 1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3, 9 — промывалки-счетчики пузырьков; 4 — осушительные колонки; 5 — кварцевая трубка (реактор); 6 — печь; 7 — фарфоровая лодочка; 8 — предохранительная промывалка; 10, 13 — газоотводные трубки; 11 — пробирка для проверки газа на чистоту; 12 — кристаллизатор с водой; 14 — стакан; 15 — воронка

те выделяющийся газ в пробирку 11. Если собранный газ при поджигании сгорает спокойно, без взрыва (свистящего звука), то тогда замените газоотводную трубку 10 на трубку 13 с воронкой 15, погруженной на 3—5 мм в раствор поглотителя сероводорода (20%-ный раствор гидроксида натрия или раствор сульфата меди, в стакане 14) и разогрейте печь до 500 °С. Пропускайте сероводород над хлоридом хрома(III) при этой температуре в течение часа, затем выключите печь 6 и охладите реактор 5 в токе сероводорода. После охлаждения печи извлеките вещество из реактора, взвесьте и рассчитайте выход в процентах. Напишите уравнение реакции.

Часть сульфида хрома поместите в пробирку, прилейте немного воды и подогрейте. Что наблюдаете? Напишите уравнение реакции.

43.5. Диоксидхлорид хрома(VI) (хлорид хромил)

(Хлорид хромил и его пары чрезвычайно ядовиты. Все опыты с этим веществом проводите только в вытяжном шкафу, в перчатках и защитных очках!)

1. В сухую пробирку Вюрца 1 (рис. 167) поместите смесь 1,0 г хлорида натрия и 1,0 г дихромата калия, добавьте несколько капель концентрированной серной кислоты и закройте пробкой. Газоотводную трубку 2 пробирки 1 опустите в другую сухую пробирку Вюрца 3, соединенную с хлоркальциевой трубкой 4 и помещенную в стакан 5 со льдом и водой. Слегка нагрейте реакционную смесь. Что собирается в приемнике? Напишите уравнение реакции.

2. Соберите в вытяжном шкафу прибор (рис. 168). В колбу Вюрца 1 поместите хлорид натрия и смочите его концентрированной соляной кислотой. В капельную воронку 2 и промывалки 3 налейте концентрированную серную кислоту. В стеклянную реакционную трубку 4 поместите кварцевую лодочку 5 с небольшим количеством (~1,0 г) триоксида хрома [получение оксида хрома(VI) см.]

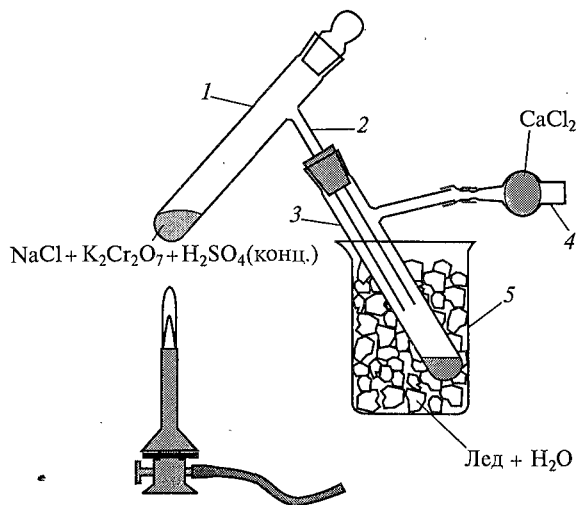


Рис. 167. Прибор для получения диоксидхлорида хрома(VI):

1, 3 — пробирки Вюрца; 2 — газоотводная трубка; 4 — хлоркальциевая трубка; 5 — баня с льдом и водой

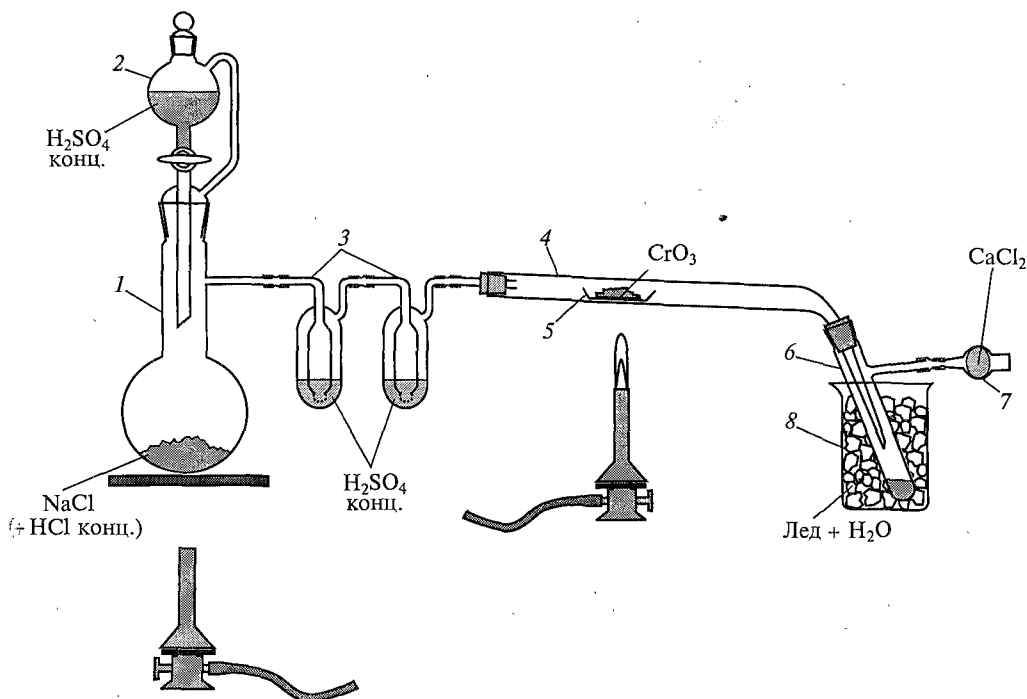


Рис. 168. Прибор для получения диоксидхлорида хрома:

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — промывалки с серной кислотой; 4 — реактор; 5 — кварцевая лодочка; 6 — пробирка Вюрца-приемник; 7 — хлоркальциевая трубка; 8 — баня со льдом и водой

в подразд. 17.4]. Приемник-пробирку Вюрца 6, соединенный с хлоркальциевой трубкой 7, поместите в стакан 8 со льдом и водой. Приемник предварительно взвесьте.

Осторожно приоткройте кран капельной воронки 2 и, добавляя по каплям концентрированную серную кислоту к хлориду натрия, пропустите через прибор ток сухого хлороводорода. Для отгонки образующейся жидкости слегка обогревайте лодочку с веществом газовой горелкой. Что наблюдаете? Какого цвета вещество собирается в приемнике? По завершении реакции приемник отсоедините, закройте пробкой и взвесьте. Рассчитайте количество полученного вещества и выход в процентах. Напишите уравнение реакции.

(Хлорид хрома нельзя запаивать в ампулу и хранить в герметичной посуде!)

Добавьте в стакан с водой две—три капли полученного продукта. Что наблюдаете? Установите, какие ионы содержатся в растворе. Напишите уравнения реакций.

43.6. Комплексные соли аммиаков хрома(III)

Получение аммиаков хлорида хрома(III). Соберите в вытяжном шкафу прибор (рис. 169). В колбу Вюрца 1 поместите твердый гидроксид натрия в количе-

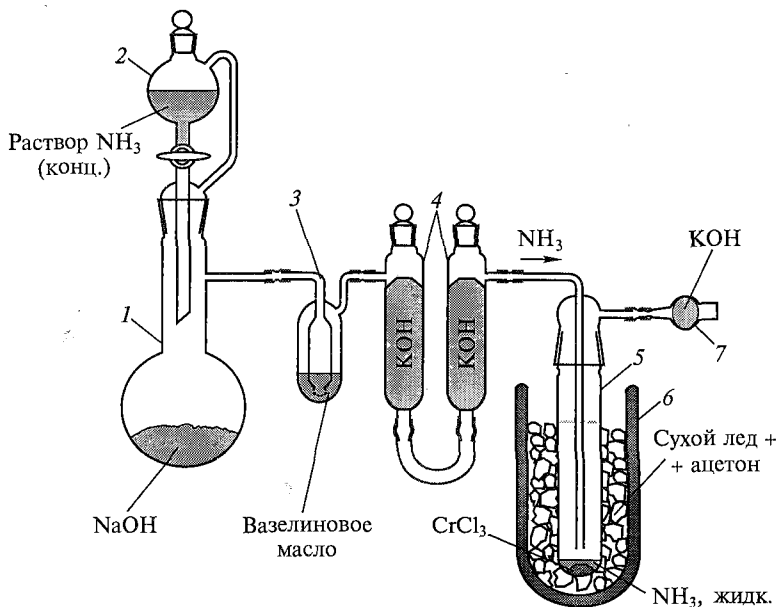


Рис. 169. Прибор для получения аммиакатов хлорида хрома:

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3 — промывалка-счетчик пузырьков; 4 — осушительные колонки; 5 — реактор; 6 — сосуд Дьюара; 7 — хлоркальциевая трубка

стве не менее $\frac{1}{3}$ объема колбы (*наденьте защитные очки и перчатки!*). В капельную воронку 2 налейте 25%-ный раствор аммиака. Промывалку 3 (счетчик пузырьков) заполните вазелиновым маслом, а осушительные колонки 4 — твердым гидроксидом калия. В реактор 5 внесите 2—3 г тонко измельченного безводного хлорида хрома(III). К крышке реактора подсоедините хлоркальциевую трубку 7 с гидроксидом калия.

Медленно приоткройте кран капельной воронки 2 и, добавляя по каплям раствор аммиака к твердой щелочи, заполните прибор газообразным аммиаком. После вытеснения всего воздуха из прибора охладите реактор 5 смесью сухого льда с ацетоном (*огнеопасно, держать вдали от огня!*) в сосуде Дьюара 6. Аммиак пропускайте до тех пор, пока не сконденсируется 7—10 мл жидкости, при этом весь хлорид хрома должен находиться под слоем жидкого аммиака. Как изменился цвет твердого вещества?

Полученный продукт перенесите в фарфоровую чашку и дайте аммиаку испариться (*в вытяжном шкафу!*). Твердый остаток разотрите с 20 мл охлажденной до 1°C воды, смесь хорошо размешайте, осадок отделите на стеклянном фильтре. Промойте осадок на фильтре небольшими порциями охлажденной воды до появления у фильтрата красной окраски. Фильтрат сохраните. Какое соединение перешло в раствор и какое осталось на фильтре?

Получение нитрата гексаамминхрома(III). Добавьте к фильтрату 3 мл концентрированной азотной кислоты. Выпавший желтый осадок отфильтруйте и очистите перекристаллизацией. Для этого растворите сырой продукт в минимальном количестве теплой воды, подкисленной азотной кислотой (1,5 мл

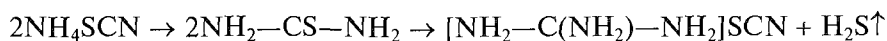
55%-ного раствора азотной кислоты на 10 мл воды). Раствор профильтруйте, к фильтрату медленно добавьте концентрированную азотную кислоту до прекращения выделения оранжево-желтого осадка.

Осадок отфильтруйте, промойте спиртом, высушите на воздухе и взвесьте. Рассчитайте выход в процентах. Полученные кристаллы рассмотрите под микроскопом.

Получение хлорида пентаамминхлорохрома(III). Красный осадок с фильтра, образовавшегося при получении аммиака хлорида хрома, перенесите в фарфоровую чашку и обработайте концентрированной соляной кислотой при нагревании до кипения. Смесь охладите до комнатной температуры, добавьте 5 мл воды и тщательно перемешайте. Осадок отделите на стеклянном пористом фильтре и промойте небольшим количеством воды. Затем быстро снимите с фильтра и растворите его в 100 мл нагретой до 50 °С и подкисленной соляной кислотой воды. Раствор профильтруйте через большой складчатый фильтр на воронке для горячего фильтрования. Прибавьте к фильтрату равный объем концентрированной соляной кислоты и оставьте кристаллизоваться. Выпавшие кристаллы отделите от маточного раствора на стеклянном пористом фильтре. Полученное вещество высушите на воздухе и взвесьте. Рассчитайте выход в процентах. Рассмотрите форму кристаллов под микроскопом. Напишите уравнения реакций.

43.7. Диамминтетратиоцианатохромат(III) аммония

Синтез диамминтетратиоцианатохромата(III) аммония (соли Рейнике) сопровождается образованием побочного продукта диамминтетратиоцианатохромата(III) гуанидиния (соли 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:



Приготовьте в одной фарфоровой чашке смесь 4,2 г тонкорастертого дихромата аммония и 5 г роданида аммония. Другую фарфоровую чашку с 20 г роданида аммония поместите в вытяжном шкафу на песчаную баню и осторожно нагрейте при постоянном перемешивании стеклянной палочкой до начала плавления. Продолжая перемешивание, внесите в роданид аммония небольшими порциями (примерно по 1 г) смесь дихромата аммония с роданидом аммония из первой чашки. Температура расплава не должна превышать 160 °С.

После прибавления всего количества смеси снимите чашку с песчаной бани и, продолжая непрерывное перемешивание, охладите до комнатной температуры. Полученный продукт разотрите в ступке и перенесите в стакан. Прибавьте 20 мл ледяной воды, смесь хорошо перемешайте стеклянной палочкой и оставьте отстаиваться 15 мин. Нерастворившийся осадок отделите от маточного раствора фильтрованием на стеклянном пористом фильтре. Осадок, не промывая, внесите в стакан с 30 мл воды, нагретой до 60 °С, и перемешайте. Горячий раствор с температурой 60 °С отфильтруйте на воронке для горячего фильтрования с бумажным фильтром. (*Растворение и фильтро-*

вание проводите в вытяжном шкафу! При нагревании раствора выше 60°C происходит быстрое разложение комплексов, сопровождающееся голубым окрашиванием раствора и выделением циановодорода!) Осадок на фильтре состоит из диамминтетратиоцианатохромата(III) гуанидиния. Оставьте маточный раствор медленно охлаждаться на ночь. При охлаждении выпадают рубиново-красные кристаллы диамминтетратиоцианатохромата(III) аммония. Кристаллы отделите от маточного раствора на стеклянном пористом фильтре и, не промывая, высушите на воздухе.

Перенесите сухие кристаллы диамминтетратиоцианатохромата(III) аммония в заранее взвешенный бюкс и взвесьте. Рассчитайте выход в процентах по отношению к взятому количеству дихромата аммония. Напишите уравнения реакций.

Рассмотрите полученные кристаллы под микроскопом и отметьте их форму.

43.8. Гексатиоцианатохромат(III) пиперидиния

Гексатиоцианатохромат(III) пиперидиния получают взаимодействием тиоцианата пиперидина с хлоридом хрома(III).

Получение тиоцианата пиперидиния. В фарфоровую чашку внесите 6 мл пиперидина ($\text{C}_5\text{H}_{11}\text{N}$), затем, постепенно, при перемешивании добавьте 5,0 г тиоцианата аммония. Смесь нагрейте на водяной бане до полного удаления аммиака (поднесите к чашке индикаторную бумажку, смоченную водой). Полученную смесь охладите до комнатной температуры, постоянно перемешивая ее стеклянной палочкой. Должна произойти полная кристаллизация образовавшегося тиоцианата пиперидиния.

Полученное вещество перекристаллизуйте из ацетона. Для этого нагрейте водяную баню до кипения и уберите горелку. Подогрейте в стеклянном стакане на водяной бане 15 мл ацетона, и растворите в нем при перемешивании полученный тиоцианат пиперидиния. Охладите раствор до комнатной температуры. Выпавшие белые блестящие кристаллы отфильтруйте на воронке со стеклянным фильтрующим дном и, не промывая, высушите на воздухе. Взвесьте и рассчитайте выход в процентах по отношению к взятому количеству тиоцианата аммония.

Получение гексатиоцианатохромата(III) пиперидиния. В чистую фарфоровую чашку поместите полученный тиоцианат пиперидиния и расплавьте его на водяной бане.

Внесите в расплав рассчитанное количество гексагидрата хлорида хрома(III). Смесь тщательно перемешайте стеклянной палочкой. В расплаве сразу же образуется мелкокристаллический осадок фиолетового цвета. Продолжайте перемешивание 5 мин.

Снимите чашку с водяной бани и охладите до комнатной температуры. Для очистки от непрореагировавших компонентов к продукту реакции добавьте 10 мл воды, охлажденной в бане со льдом, и хорошо перемешайте. Твердый осадок отфильтруйте на стеклянном пористом фильтре, промойте холодной водой (пять раз по 5 мл) и высушите на воздухе.

Взвесьте полученное вещество и рассчитайте выход в процентах по отношению к взятому количеству хлорида хрома(III). Напишите уравнения реакций.

МОЛИБДЕН, ВОЛЬФРАМ

44.1. Получение молибдена (вольфрама)

Соберите прибор для восстановления в токе водорода (см. рис. 152). Реактор 4 установите с небольшим наклоном вправо.

(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.)

В алундовую или фарфоровую лодочку поместите 0,5 г оксида молибдена или вольфрама, взвешенного с точностью $\pm 0,01$ г. Лодочку с веществом внесите в среднюю часть реакционной трубки. Заполните прибор водородом и проверьте его герметичность. Для этого закройте выход из газоотводной трубки 9 коротким отрезком резиновой трубки 10, закрытой короткой оплавленной стеклянной палочкой в качестве пробки и откройте полностью кран аппарата Киппа 1. Через все промывалки, по крайней мере в течение 30 с, не должно пробулькивать ни одного пузырька газа.

После того, как убедитесь в герметичности прибора, проверьте на чистоту выделяющийся из газоотводной трубки 9 водород (см. подразд. 10.1) и только после этого включите печь 5. *(Проверяйте в присутствии преподавателя! Соборанный в пробирку чистый водород должен сгорать практически без свистящего звука!)* Выходящий из газоотводной трубки 9 водород не поджигайте.

Восстановление в токе водорода ведите при $800 - 900$ °С. Когда металл полностью восстановится, охладите реактор в токе водорода до температуры, близкой к комнатной.

Полученный металл взвесьте с точностью $\pm 0,01$ г и рассчитайте состав исходного оксида. Напишите уравнение реакции.

44.2. Получение оксида молибдена(VI) окислением молибденита в кипящем слое

Соберите в вытяжном шкафу прибор (рис. 170). На пористую перегородку 3 кварцевого реактора 1 поместите 20 г растертого в ступке молибденита. Через трубку 4 пропустите ток сухого воздуха с такой интенсивностью, чтобы на расстоянии 30—50 мм от края горизонтального колена реактора появился бы «факел» молибденита. Надвиньте печь 2 и повысьте фиксируемую термопарой 5 температуру в реакторе до 600 °С (по показаниям цифрового термометра 6).

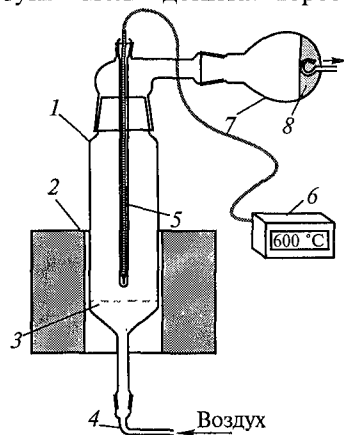


Рис. 170. Прибор для получения оксида молибдена(VI): 1 — реактор; 2 — печь; 3 — пористая перегородка; 4 — газо-подводящая трубка; 5 — термопара; 6 — термометр цифровой; 7 — приемник; 8 — стекловата

После полного окисления взятого количества молибдена выключите печь и охладите прибор в токе воздуха. Отсоедините приемник 7 (со стекловатой 8 от прибора и извлеките возогнанный триоксид молибдена из приемника, а также из горизонтального колена реактора. Взвесьте вещество. Рассчитайте выход в процентах. Напишите уравнение реакции.

44.3. Вольфрамовые бронзы

Соберите прибор для восстановления в токе водорода (см. рис. 152).

В реакционную трубку 4 поместите лодочку с 0,3—0,5 г паравольфрамата натрия. В соответствии с методикой, приведенной в подразд. 41.4, проверьте прибор на герметичность и заполните водородом. (*Осторожно! Водород в смеси с воздухом взрывоопасен! Опыт проводите только в присутствии преподавателя!*) Проверьте водород на чистоту (см. подразд. 10.1) и включите печь. Повысьте температуру в печи до 600 °С и ведите восстановление в токе водорода в течение часа при этой температуре. Охладите печь до комнатной температуры не прекращая пропускать водород. Полученное вещество взвесьте. Как и почему изменилась масса вещества? Какова его окраска? Напишите уравнение реакции.

44.4. Трибромид молибдена

Соберите в вытяжном шкафу прибор (рис. 171). Заполните промывалки 2 и 8 концентрированной серной кислотой, осушительные колонки 3 — оксидом фосфора(V) на стекловате (*наденьте защитные очки и перчатки!*).

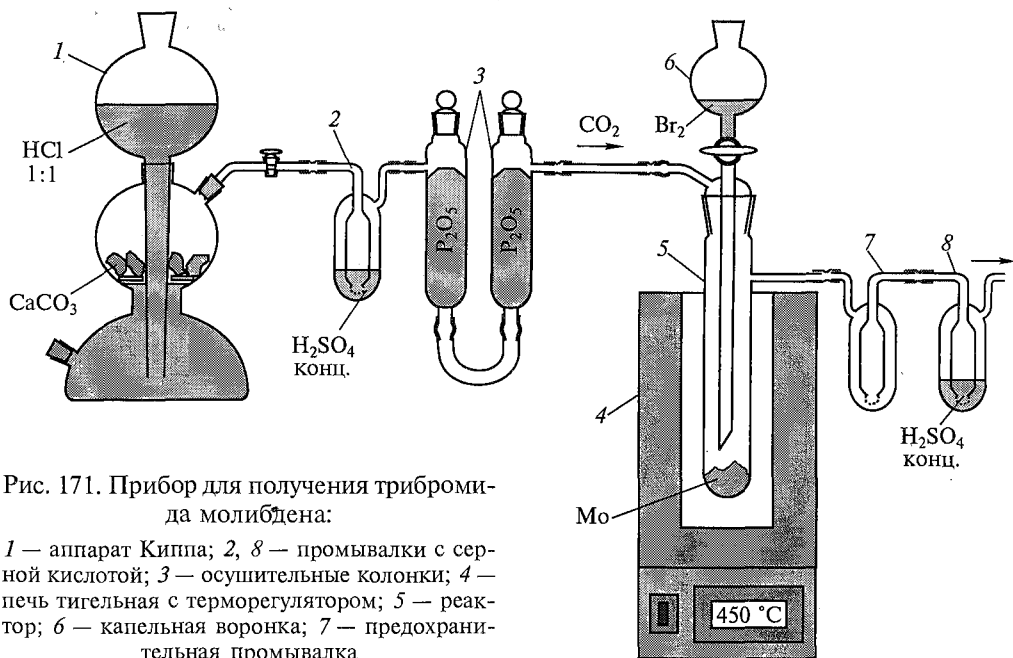


Рис. 171. Прибор для получения трибромида молибдена:

1 — аппарат Киппа; 2, 8 — промывалки с серной кислотой; 3 — осушительные колонки; 4 — печь тигельная с терморегулятором; 5 — реактор; 6 — капельная воронка; 7 — предохранительная промывалка

Поместите 1,0 г порошка молибдена в реактор 5. В капельную воронку 6 налейте сухой бром (*работать с бромом можно только под тягой в перчатках и защитных очках*) с избытком 50 % от рассчитанного по уравнению реакции.

Заполните из аппарата Киппа 1 прибор углекислым газом (сухим) и установите слабый ток газа (1—2 пузырька в секунду). Включите печь 4 и нагрейте молибден в реакторе до 450 °С. Затем приоткройте кран капельной воронки и медленно, по каплям добавляйте бром к молибдену. Бром добавляйте с такой скоростью, чтобы весь бром вступал в реакцию и пары брома не уносились током углекислого газа из реактора.

После введения всего брома выньте реактор из печи и охладите в токе углекислого газа. Полученное вещество извлеките из реактора и рассмотрите под микроскопом. Какие соединения могут получаться при бромировании молибдена? Трибромид молибдена перенесите в заранее взвешенный бюкс и взвесьте. Рассчитайте выход в процентах от исходного количества молибдена.

44.5. Гексахлоромолибдат(III) калия (аммония) и наонахлородимолибдат(III) аммония

Гексахлоромолибдат(III) калия (аммония) и наонахлородимолибдат(III) аммония синтезируют в две стадии. Вначале получают раствор гексахлоромолибденовой(III) кислоты, затем добавляют хлорид калия (аммония) для выделения соответствующего соединения. Осаждают наонахлородимолибдат(III) аммония в присутствии хлорида цинка.

Получение раствора гексахлоромолибденовой(III) кислоты

Поместите в химический стакан 5 г молибденовой кислоты, прилейте 25 мл концентрированной соляной кислоты. Смесь подогрейте на горелке через асбестовую сетку при перемешивании стеклянной палочкой до полного растворения молибденовой кислоты и получения прозрачного раствора.

Полученный лимонно-желтый раствор перенесите в коническую колбу. Добавьте 7 г гранулированного цинка, закройте колбу 1 пробкой с клапаном Бунзена и поместите в водяную баню 2 (рис. 172). Поддерживайте температуру воды в бане 15—20 °С. Вначале раствор приобретает зеленую окраску соединения молибдена(V). Восстановление молибдена ведите до появления характерного красно-коричневого цвета раствора соединения молибдена(III).

Для проверки полноты восстановления налейте в пробирку 1—2 мл концентрированной соляной кислоты, прибавьте пипеткой одну—две капли полученного раствора и нагрейте до кипения. Вишнево-красная окраска раствора в проходящем свете свидетельствует о полном восстановлении молибдена(VI) до молибдена(III).

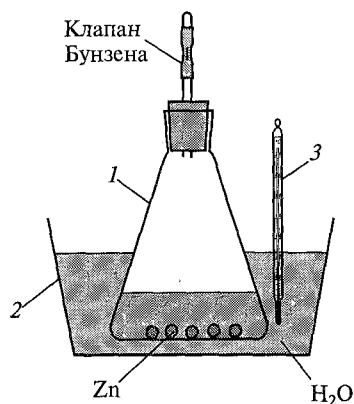


Рис. 172. Восстановление молибденовой кислоты цинком: 1 — коническая колба; 2 — водяная баня; 3 — термометр

Раствор осторожно декантируйте с непрореагировавшего цинка в другую чистую коническую колбу, охладите в бане со льдом и пропустите ток хлороводорода до насыщения. Полноту поглощения контролируйте периодическим взвешиванием колбы с раствором. Должно поглотиться 7,5—8,0 г хлороводорода. Напишите уравнения реакций.

Гексахлоромолибдат(III) калия

Закройте колбу с полученным в предыдущем опыте солянокислым раствором гексахлоромолибденовой(III) кислоты клапаном Бунзена и нагрейте на водяной бане до 40—50 °С. Добавьте к раствору небольшими порциями хлорид калия, взятый с 10%-ным избытком, до полного растворения хлорида калия при непрерывном перемешивании.

Оставьте раствор медленно охлаждаться до комнатной температуры (лучше на ночь) для кристаллизации гексахлоромолибдата(III) калия. Для увеличения выхода раствор можно дополнительно охладить в бане со льдом. Выпавшие коричнево-красные кристаллы отфильтруйте на воронке со стеклянным фильтрующим дном. Осадок на фильтре вначале промойте 3—5 мл охлажденной концентрированной соляной кислоты и смесью охлажденных концентрированной соляной кислоты и этанола (1 : 1), затем дважды этанолом (по 3—5 мл) и, наконец, эфиром три раза по 3 мл. Кристаллы высушите на фильтре и перенесите в бюкс. Взвесьте вещество и определите выход в процентах. Напишите уравнения реакций. Рассмотрите полученные кристаллы под микроскопом и зарисуйте их форму.

Гексахлоромолибдат(III) аммония

Закройте колбу с полученным ранее раствором гексахлоромолибденовой(III) кислоты клапаном Бунзена и нагрейте на водяной бане до 40—50 °С. Добавьте к раствору небольшими порциями при непрерывном перемешивании хлорид аммония, взятый с 30%-ным избытком до полного растворения хлорида аммония.

Оставьте раствор медленно охлаждаться до комнатной температуры (лучше на ночь) для кристаллизации гексахлоромолибдата(III) аммония. Для увеличения выхода раствор дополнительно охладите в бане со льдом. Выпавшие розово-красные кристаллы отфильтруйте на воронке со стеклянным фильтрующим дном. Осадок на фильтре промойте вначале 3—5 мл охлажденной концентрированной соляной кислоты и смесью охлажденных концентрированной соляной кислоты и этанола (1 : 1), затем дважды этанолом (по 3—5 мл) и, наконец, эфиром три раза по 3 мл. Полученное кристаллическое вещество высушите на фильтре и перенесите в бюкс, взвесьте и рассчитайте выход в процентах. Напишите уравнения реакций. Рассмотрите полученные кристаллы под микроскопом и зарисуйте их форму.

Нонахлоридомолибдат(III) аммония

Колбу с полученным ранее раствором гексахлоромолибденовой(III) кислоты закройте клапаном Бунзена, подогрейте на водяной бане до 40—50 °С

перенесите на магнитную мешалку с электроплиткой. Включите перемешивание с нагреванием и при интенсивном перемешивании растворите небольшие порциями вначале 30 г гексагидрата хлорида цинка для димеризации MoCl_6^{3-} в $\text{Mo}_2\text{Cl}_8^{3-}$, а затем 3,0 г хлорида аммония.

Оставьте раствор медленно охлаждаться до комнатной температуры (лучше на ночь). Для увеличения выхода раствор можно дополнительно охладить в бане со льдом. Выпавшие темно-розовые, почти красные, кристаллы отфильтруйте на воронке со стеклянным фильтрующим дном. Осадок на фильтре промойте вначале 3—5 мл охлажденной концентрированной соляной кислоты и смесью охлажденных концентрированной соляной кислоты и этанола (1:1), затем дважды этанолом (по 3—5 мл) и, наконец, эфиром три раза по 3 мл. Кристаллы просушите на фильтре и перенесите в заранее взвешенный бюкс. Взвесьте вещество и определите выход в процентах. Напишите уравнения реакций. Какова роль хлорида аммония?

Рассмотрите полученные кристаллы под микроскопом и зарисуйте их форму. Кристаллы нонахлородимолибдата(III) аммония имеют форму гексагональных пластинок.

ГЛАВА 45

МАРГАНЕЦ

45.1. Оксид марганца(II)

(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 для восстановления в токе водорода (рис. 173) с длинной,ходящей практически до дна колбы, воронкой 2 и реакционной трубкой 5 с небольшим наклоном в сторону выхода газа из прибора. Колбу Вюрца 1 заполните примерно на четверть гранулированным цинком.

Поместите в фарфоровую чашку 1,0 г дигидрата оксалата марганца(II) и нагрейте для обезвоживания до 150—180 °С на песчаной бане или в сушильном шкафу. Обезвоженную соль в фарфоровой лодочке 6 поместите в среднюю часть кварцевой трубки 5.

Налейте в колбу 1 через воронку 2 немного 20%-ного раствора соляной или серной кислоты, так, чтобы воронка 2 погрузилась в кислоту примерно на 10 мм. При использовании серной кислоты для ускорения реакции, если необходимо, добавьте немного раствора сульфата меди. Проверьте герметичность прибора и чистоту (*под наблюдением преподавателя!*) выделяющегося водорода (см. подразд. 10.1). Водород на выходе из прибора не поджигайте!

Убедившись в чистоте водорода (собранного в пробирки 10), поверните газоотводную трубку 9 вниз (см. рис. 173, б) для пропускания газа через пробирку 11 с известковой или баритовой водой для контроля за полной разложением оксалата марганца(II). Нагрейте пламенем горелки лодочку 6 с оксалатом марганца и наблюдайте изменение окраски вещества. Когда выделяющийся газ не будет содержать диоксида углерода, уберите нагревание и охладите

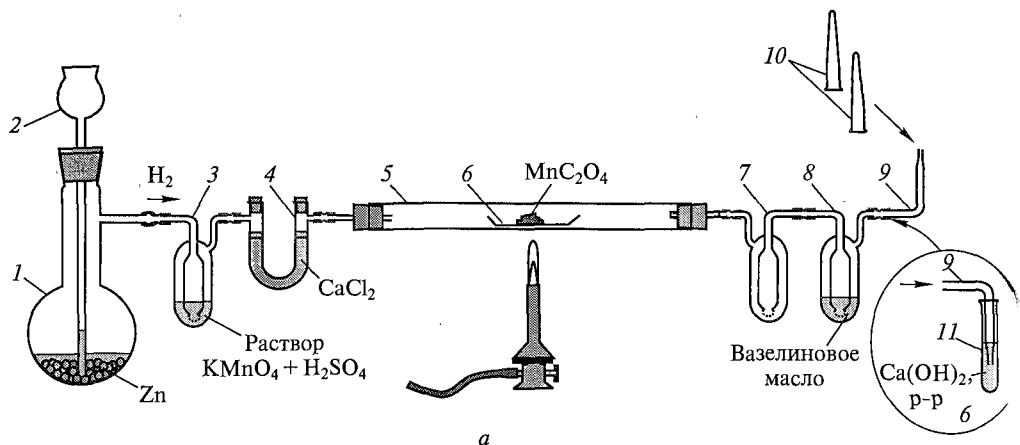


Рис. 173. Прибор для получения оксида марганца(II):

a — проверка водорода на чистоту перед началом синтеза; *b* — определение оксида углерода(IV) в ходе синтеза; 1 — колба Вюрца; 2 — воронка; 3, 8 — промывалки; 4 — U-образная трубка; 5 — кварцевая реакционная трубка; 6 — лодочка; 7 — предохранительная промывалка; 9 — газостводная трубка. 10 — пробирки для проверки водорода на чистоту; 11 — пробирка с известковой водой

реактор в токе водорода. Извлеките лодочку из трубки и высыпьте часть содержимого лодочки в горячую фарфоровую чашку. Что происходит? Другую часть вещества оставьте на воздухе. Что наблюдаете? Напишите уравнения реакций.

45.2. Манганат(VI) натрия

Соберите прибор (рис. 174). Осушительную колонку 4 заполните гранулированным хлоридом кальция и подключите к воздушной магистрали. Приготовьте 2,0 г смеси пероксида натрия и диоксида марганца. Пероксид натрия (*наденьте защитные очки и перчатки!*) возьмите в отношении 1:1 относительно диоксида марганца. Взвешивание и перетирание пероксида натрия проводите под слоем тетрахлорида углерода. Для этого налейте в сухой бюкс 20 мл сухого тетрахлорида углерода. Взвесьте бюкс с жидкостью и поместите под слой тетрахлорида углерода рассчитанное количество пероксида натрия. Взвесьте отдельно диоксид марганца.

Перенесите оба соединения в фарфоровую ступку с сухим тетрахлоридом углерода (~20 мл). Обмойте стенки бюкса, в котором находился пероксид натрия, 2—3 мл тетрахлорида углерода и присоедините этот раствор к реакционной смеси.

Поместите ступку на водяную баню (*в вытяжном шкафу! Наденьте перчатки! Тетрахлорид углерода ядовит и впитывается через кожу*). Когда растворитель закипит, снимите ступку с водяной бани и тщательно перетрите смесь фарфоровым пестиком до образования пастообразной массы (*не допускайте высыхания смеси!*). Полученную массу перенесите в фарфоровый тигель, а тигель поместите с помощью держателя из нихромового провода 3 в реактор 2 (см. рис. 174). Проволочный держатель оставьте в реакторе, а реактор закройте крышкой.

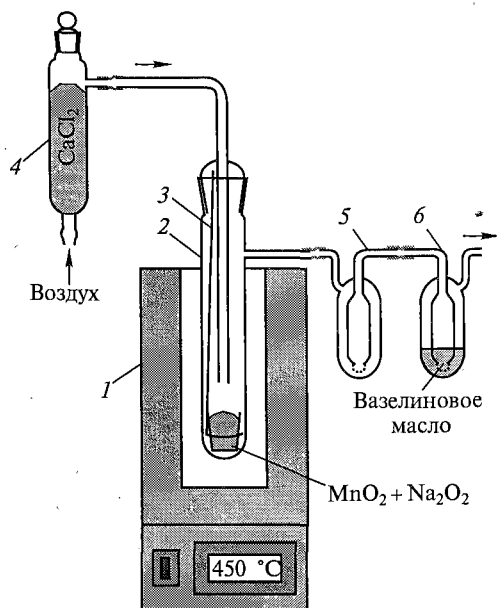


Рис. 174. Прибор для синтеза манганата(VI) натрия:

1 — печь тигельная; 2 — реактор; 3 — нихромовый держатель; 4 — колонка осушительная; 5 — промывалка предохранительная; 6 — промывалка-счетчик пузырьков

Отрегулируйте ток воздуха со скоростью не более одного пузырька в секунду. Включите нагрев печи, разогрейте реакционную смесь до $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ (не выше!) и выдержите при этой температуре 1 ч в слабом токе воздуха. Выключите печь. Выньте реактор из печи, не отключая от воздушной магистрали, и охладите на воздухе до комнатной температуры.

Тигель с веществом извлеките из реактора. Рассмотрите вещество под микроскопом. Поместите две пробы вещества (примерно по 0,3 г) в одинаковые пробирки. Первую пробирку заполните дистиллированной водой, а вторую — водопроводной и перемешайте. Что наблюдаете? Чем объяснить наблюдаемое различие? Как изменяется окраска при стоянии на воздухе? Напишите уравнения реакций.

45.3. Гексагидрат молибдоманганата(IV) аммония — $(\text{NH}_4)_6(\text{MnMo}_9\text{O}_{32}) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Растворите 10 г тетрагидрата гептамолибдата аммония в 100 мл воды при слабом нагревании горелкой через асбестовую сетку. Охладите раствор до комнатной температуры и подкислите 20%-ной серной кислотой, добавляя ее по каплям из капельной воронки при непрерывном перемешивании на магнитной мешалке 1 до $\text{pH} = 3 \dots 3,5$ (рис. 175).

К полученному раствору прибавьте свежеприготовленный раствор 1 г перманганата калия в 70 мл воды и, перемешивая стеклянной палочкой, нагрейте его до $70\text{—}80\text{ }^{\circ}\text{C}$.

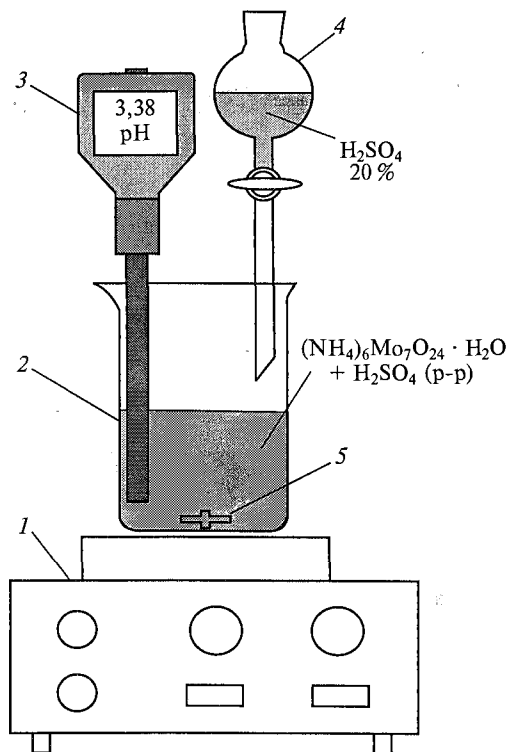


Рис. 175. Подкисление раствора молибдата аммония:

1 — магнитная мешалка; 2 — стакан; 3 — pH-метр; 4 — капельная воронка; 5 — перемешивающий стержень

Перенесите стакан 2 с горячим раствором на магнитную мешалку с включенным электроподогревом и при постоянном перемешивании медленно по каплям (1 капля за 5 с) прибавляйте из бюретки свежеприготовленный 3%-ный раствор пероксида водорода до перехода фиолетовой окраски в оранжевую. Для этого потребуется около 15 мл пероксида водорода.

Закройте стакан часовым стеклом и оставьте охлаждаться на ночь на холоде. Выпавшие оранжево-красные кристаллы отфильтруйте на воронке со стеклянным фильтрующим дном, промойте небольшим количеством воды, охлажденной в бане со льдом, перенесите на взвешенное часовое стекло, высушите в воздухе и взвесьте. Рассчитайте выход в процентах по отношению к взятому количеству перманганата калия. Напишите уравнения реакций.

Полученные кристаллы рассмотрите под микроскопом, зарисуйте их форму.

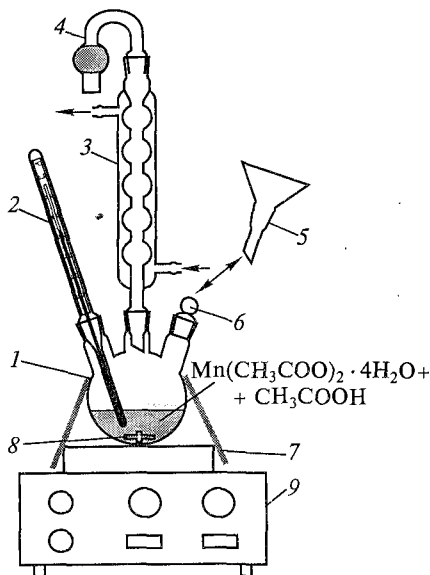
45.4. Ацетат марганца(III)

Дигидрат ацетата марганца(III)

Соберите прибор (рис. 176). Шариковый холодильник 3 закройте хлоркальциевой трубкой 4, заполненной оксидом фосфора(V) на стекловате. В колбу

Рис. 176. Прибор для синтеза ацетата марганца(III):

1 — колба трехгорлая; 2 — термометр; 3 — шариковый холодильник; 4 — хлоркальциевая трубка; 5 — воронка; 6 — стеклянная пробка; 7 — экран; 8 — перемешивающий стержень; 9 — магнитная мешалка



поместите 5,0 г тетрагидрата ацетата марганца(II) и прилейте 33 мл свежеприготовленной ледяной уксусной кислоты.

Смесь в колбе нагрейте на электрической плитке до 95°C , включите мешалку 9 и перемешивайте смесь в течение часа, затем замените пробку 6 на воронку 5 и небольшими порциями за 1—2 мин добавьте 0,8 г тонкоизмельченного порошка перманганата калия. Закройте горло колбы пробкой 6 и выдержите в неизменных условиях при непрерывном перемешивании еще 30 мин.

Образовавшийся темно-коричневый раствор охладите до 50°C , добавьте в колбу 1,5 мл воды. Выключите мешалку, отсоедините от колбы холодильник и закройте колбу стеклянными пробками. Оставьте смесь на сутки при комнатной температуре.

Выделившиеся кристаллы отфильтруйте на воронке со стеклянным фильтрующим дном и промойте 5—10 мл ледяной (вымороженной один раз) уксусной кислоты, а затем 5—10 мл абсолютированного эфира. Перенесите кристаллы в фарфоровую чашку и высушите в эксикаторе над твердым гидроксидом калия. Сухие кристаллы взвесьте в пробирке с плотно закрытой пробкой и рассчитайте выход в процентах. Напишите уравнения реакций.

Безводный ацетат марганца(III)

Соберите прибор (см. рис. 176). Шариковый холодильник закройте хлоркальциевой трубкой, заполненной оксидом фосфора(V) на стекловате. В колбу поместите 25 мл ледяной уксусной кислоты (вымороженной дважды) и 5 г дигидрата ацетата марганца(III).

Включите мешалку. Смесь в колбе нагрейте до 100°C . Внесите в колбу 10 мл свежеперегнанного уксусного ангидрида через воронку 5 и продолжайте нагревание еще 1,5 ч. Затем закройте колбу стеклянными пробками, предварительно отсоединив от колбы холодильник, и оставьте раствор в колбе на сутки при комнатной температуре.

Выпавшие кристаллы отфильтруйте на воронке со стеклянным фильтрующим дном в токе сухого азота. Быстро промойте осадок 5—10 мл ледяной уксусной кислоты (вымороженной дважды) и 5—10 мл абсолютированного эфира и поместите в эксикатор над гранулированным гидроксидом калия. Сухие кристаллы перенесите во взвешенную пробирку с пробкой, взвесьте и рассчитайте выход в процентах. Напишите уравнения реакций.

ЖЕЛЕЗО, КОБАЛЬТ, НИКЕЛЬ

46.1. Восстановленное железо (кобальт, никель)

Соберите прибор для восстановления в токе водорода (см. рис. 152). Реактор 4 установите с небольшим наклоном вправо.

(Все опыты с водородом разрешается проводить только в маске или защитных очках, вдали от огня и под наблюдением преподавателя.)

Взвесьте около 0,5 г любого оксида железа (кобальта или никеля) с точностью $\pm 0,01$ г и в фарфоровой лодочке поместите в реактор. Проверьте герметичность прибора и чистоту водорода *(в присутствии преподавателя!)* (см. подразд. 10.1 и 10.3). Водород на выходе не поджигайте. Включите печь и прокалите оксид железа (кобальта, никеля) в токе водорода при 600—650 °С в течение часа. Как можно убедиться в окончании процесса?

Выключите печь и охладите прибор в токе водорода до комнатной температуры. Извлеките лодочку из реактора, металл взвесьте ($\pm 0,01$ г) и поместите в бюкс. Рассчитайте состав исходного оксида и напишите уравнения реакций. Поднесите магнит к исходному оксиду и полученному металлу. Что наблюдаете?

46.2. Пирофорное железо

Тщательно разотрите в агатовой ступке оксид железа(III) и прокалите его в токе водорода при 400—500 °С (см. предыдущий опыт). Охладите печь до 100 °С, быстро извлеките лодочку *(осторожно, водород! Вдали от огня!)* и с некоторой высоты (отойдите подальше от прибора с водородом!) высыпьте порошок железа в нагретую фарфоровую чашку. Что происходит? Напишите уравнения реакций.

46.3. Хлорид гексаамминкобальта(II)

Соберите в вытяжном шкафу прибор (рис. 177). Заполните колбу Вюрца 1 на $\frac{1}{3}$ гранулированным гидроксидом натрия. В капельную воронку 2 налейте концентрированный раствор аммиака. Сушительные колонки 4 заполните гранулированным гидроксидом калия *(наденьте защитные очки и перчатки!)*, а промывалки 3 и 7 (счетчики пузырьков) — вазелиновым маслом.

Поместите 0,05—0,1 г безводного хлорида кобальта(II), полученного в синтезе подразд. 33.1, во взвешенную кварцевую лодочку 6. Взвешивание лодочки и вещества с лодочкой проводите на аналитических весах с точностью 0,001 г. Лодочку с веществом разместите в средней части реактора 5. Осторожно приоткройте кран капельной воронки и заполните прибор аммиаком. Пропускайте аммиак при комнатной температуре со скоростью 1—2 пузырька в секунду. Ток аммиака отрегулируйте по скорости пробулькивания газа через последнюю промывалку. Периодическим взвешиванием контролируйте изменение массы синтезируемого соединения. Для этого после прекращения увеличения объема вещества извлеките лодочку из реактора и взвесьте. Вновь поместите лодочку в реактор, пропускайте аммиак еще 10 мин и взвесьте еще раз. Опыт

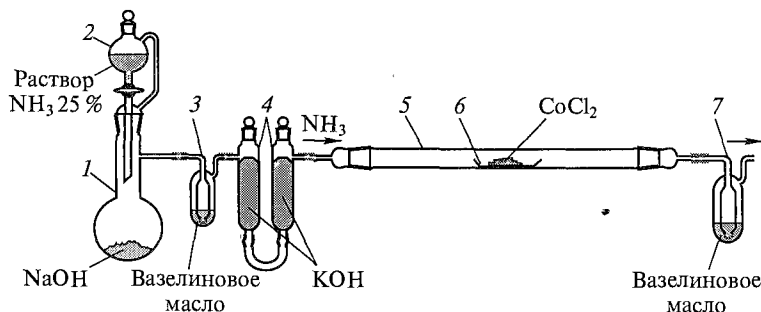


Рис. 177. Прибор для получения хлорида гексаамминкобальта(II):

1 — колба Вюрца; 2 — капельная воронка; 3, 7 — промывалки-счетчики пузырьков; 4 — осушительные колонки; 5 — реактор; 6 — лодочка с хлоридом кобальта

продолжайте до достижения постоянной массы вещества (два последовательных взвешивания должны различаться не более чем на 2 мг).

Полученное вещество перенесите в бюкс. По результатам взвешивания лодочки с веществом рассчитайте состав аммиака хлорида кобальта(II). Испытайте отношение синтезированного продукта к воде, разбавленному и концентрированному растворам аммиака. Устойчиво ли это соединение на воздухе и в водном растворе?

46.4. Карбонил никеля

(Карбонил никеля и оксид углерода(II) ядовиты! Водород и оксид углерода(II) в смеси с воздухом взрывоопасны! Синтез разрешается проводить только под наблюдением преподавателя!)

Соберите в вытяжном шкафу прибор (рис. 178) с аппаратом Киппа 1, заряженным для получения водорода. В колбу Вюрца 3 налейте концентрированную серную кислоту, а в капельную воронку 4 — муравьиную кислоту. Промывалки 2 и 5 заполните концентрированным раствором щелочи, осушительные колонки 6 — гранулированным хлоридом кальция. В кварцевую или фарфоровую трубку 7 поместите медную сетку или свернутую спиралью медную фольгу. В реакционную трубку 9, установленную с небольшим наклоном в сторону приемника, внесите 3—5 г оксалата никеля на стекловате. Трубку заполните на длину 8—10 см.

Добавьте по каплям муравьиную кислоту из капельной воронки 4 в колбу Вюрца и вытесните воздух из прибора оксидом углерода(II). Проверьте чистоту выделяющегося оксида углерода. Для этого к промывалке 13 присоедините газоотводящую трубку 16 и соберите под водой оксид углерода(II). Проба газа должна сгорать спокойно, без взрыва (*опыт проводить в присутствии преподавателя!*).

Закройте кран капельной воронки 4 и откройте кран аппарата Киппа. К промывалке 13 подсоедините газоотводящую трубку 14 с помещенной внутрь медной сеткой и проверьте чистоту выделяющегося водорода. Проба газа должна сгорать без свистящего звука (*опыт проводить в присутствии преподавателя!*).

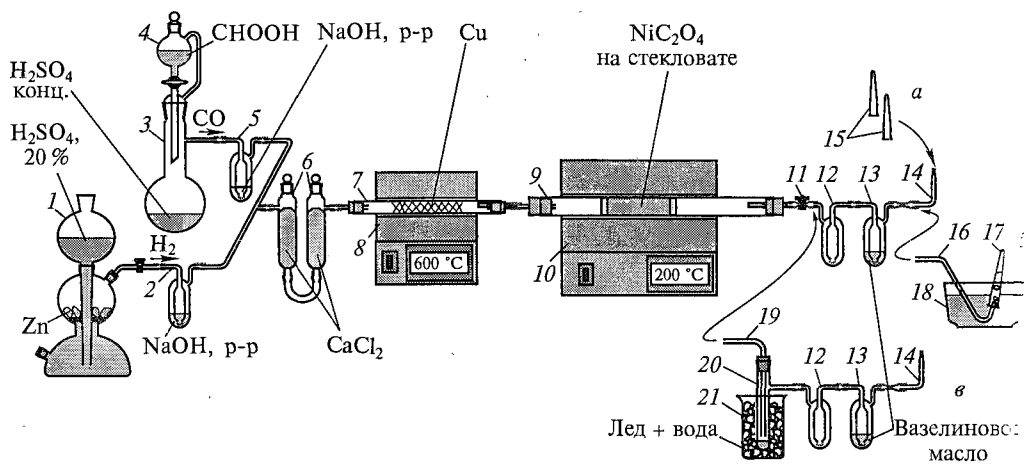


Рис. 178. Прибор для получения карбонила никеля:

a — проверка водорода на чистоту; *б* — проверка оксида углерода(II) на чистоту; *в* — получение карбонила никеля; 1 — аппарат Киппа; 2, 5, 13 — промывалки; 3 — колба Вюрца; 4 — капельная воронка; 6 — осушительные колонки; 7, 9 — кварцевые реакторы; 8, 10 — печи; 11 — зажим; 12 — предохранительная промывалка; 14, 16 — газоотводящие трубки; 15, 17 — пробирки для проверки водорода и оксида углерода(II) на чистоту; 18 — кристаллизатор; 19 — газоподводящая трубка; 20 — пробирка Вюрца; 21 — баня со льдом и водой

Нагрейте медь в печи 8 до 600—650 °С, затем медленно увеличьте температуру в печи 10 до 170—190 °С (не выше 200 °С!). После разложения всего оксалата никеля осторожным нагреванием в пламени газовой горелки удалите сконденсировавшуюся в трубке 9 воду. Дайте печи охладиться до 80 °С в замедленном токе водорода.

Закройте зажим 11 и присоедините пробирку Вюрца 20, помещенную в баню со льдом и водой. К выходу из пробирки Вюрца присоедините промывалки 12 и 13. Откройте зажим 11, продуйте пробирку Вюрца 20 и промывалки 12 и 13 водородом. Кислород не должен попасть в реакционную трубку 9. Внеочередно проверьте чистоту водорода и закройте подачу водорода из аппарата Киппа. Пропустите через прибор медленный ток оксида углерода(II) при 70—80 °С печи 10. Температуру в печи 8 не изменяйте. Слегка нагрейте пламенем горелки трубку 9 на выходе из печи 10. Что наблюдаете? Когда в приемнике соберется 0,5—1 мл жидкости, прекратите подачу оксида углерода(II), выключите печи 8 и 10, включите подачу водорода и охладите прибор в токе водорода. (При разборке прибора остерегайтесь вдыхания газообразных продуктов!) Напишите уравнения реакций.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Курсовая работа по неорганической химии

Курс неорганической химии завершается выполнением курсовой работы по синтезу одного или нескольких неорганических соединений и их идентификации доступными для студента 1-го курса методами. Полученные вещества могут быть исследованы уже известными студенту способами. Работа включает составление обзора литературы по методам синтеза и свойствам получаемых соединений с использованием оригинальной литературы. При составлении обзора литературы студент должен освоить основные принципы поиска научной информации.

1. Поиск литературы по теме работы

Перед проведением литературного поиска необходимо определить, какую информацию необходимо найти.

В первую очередь необходимы разнообразные сведения о самом синтезируемом соединении, его строении, основных химических и физических свойствах, применении, способах его получения и методах идентификации. После того, как будет найдена наиболее подходящая методика получения искомого соединения, следует приступить к сбору информации об исходных веществах и их свойствах.

Для облегчения поиска интересующей информации издаются справочные и реферативные издания, создаются электронные базы данных с поисковыми системами. 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 для поиска интересующей информации указателями: предметным, формульным, авторским и патентным. Остается только правильно сформулировать запрос и найти по запросу рефераты статей. Если в реферате есть интересующая информация, то имеет смысл ознакомиться с оригинальной работой.

Информацию о содержании оригинальных статей и обзоров можно найти не только в реферативных изданиях. Существуют электронные библиотеки (правда, очень часто с ограниченным доступом) 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), библиотеку журнальных статей «*Science Direct*» (www.sciencedirect.com), насчитывающую более 1700 журналов, и др.

Для первичного ознакомления с материалом по теме работы рекомендуется посмотреть справочники и энциклопедии. 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. Такими справочниками по неорганической химии являются следующие:

1. *Mellor J. W.* A comprehensive treatise on inorganic and theoretical chemistry: In 24 volumes. — London — N. Y. — Toronto: Longmans, Green and Co., 1946—1948. Продол-

жением является Comprehensive Inorganic Chemistry. — 2nd ed. — Oxford — N.Y. — Toronto — Sydney — Braunschweig Pergamon Press., 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 выполнения курсовой работы можно приступить к выполнению ее экспериментальной части.

3. Оформление отчета по курсовой работы

Структура отчета по курсовой работы. Введение. В краткой форме излагается важность научной задачи, степень изученности вопроса, а также известные и возможные области применения изучаемых соединений. Необходимо кратко сформулировать цель данного исследования.

Обзор литературы. Включает систематизированные сведения об изучаемом соединении и его свойствах, имеющиеся в мировой литературе. Эти сведения должны быть именно обзором литературы и не содержать дословно переписанных с первоисточника фраз. Как и в научных статьях, очень выигрышным бывает представление литературных сведений в виде таблиц и схем. Это экономит место в тексте и всегда более наглядно. Обзор литературы желательно строить по принципу «от общего к частному», рассматривая сначала, например, общий класс соединений, затем соединения данного элемента, а затем конкретный объект курсовой работы. Литературный материал распределяют по разделам, выделяя их соответствующими подзаголовками. Завершая обзор, необходимо дать краткое резюме, критически оценив, например, известные методики синтеза данного соединения и обосновав выбор используемого автором метода.

Экспериментальная часть. В этом разделе обязательно 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. Форма изложения экспериментальной части определяется темой работы. Обычно придерживаются следующей последовательности:

- 1) исходные вещества и методы исследования;
- 2) синтез;
- 3) идентификация веществ (анализ);
- 4) исследование свойств;
- 5) обсуждение результатов.

Выводы. Они 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 какими свойствами исследованы.

Литература. В списке литературы, который приводят в конце работы, цитируемые источники указывают в порядке, в котором они упоминаются в тексте курсовой работы. Сначала пишут фамилии и инициалы всех авторов, затем знак //, потом сокращенно (как в РЖ «Химия») название журнала, год, том, выпуск или номер, первую страницу используемой статьи (все разделяют точками). В случае цитирования книги по фамилиям и инициалам авторов упоминают ее название, место издания, издательство, год издания и первую страницу того раздела книги, который используется в обзоре литературы. Все данные списка литературы приводятся на языке оригинала. Если автору курсовой работы не удалось ознакомиться со статьей или книгой, а необходимо

ему данные он почерпнул из реферативного журнала, то после процитированного источника указывается название этого реферативного журнала и номер реферата.

Правила оформления курсовой работы.

Курсовая работа должна быть написана или напечатана на бумаге формата А4 с пронумерованными страницами и сброшюрована. Все таблицы и все рисунки в курсовой работе должны иметь сквозную нумерацию и названия.

Фамилии авторов и названия статей (книг) в тексте приводятся в русской орфографии. Ссылки в тексте на цитируемую литературу даются в квадратных скобках строго по порядку упоминания: [1], [2] и т.д. Если используются многократные ссылки на одну и ту же работу, то они даются под одним и тем же номером. В случае цитирования разных разделов какого-либо источника (например, монографии или справочника) в квадратных скобках после его номера в списке литературы указывают страницу, откуда почерпнуты сведения для обзора, например: [3, С. 121], [4, С. 78] и т.п.

Титульный лист курсовой работы должен оформляться так, как показано на рис. П1.1.

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

Химический факультет

Кафедра неорганической химии

КОМПЛЕКСНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ НИКЕЛЯ(II) С ДИКЕТОНАМИ

Курсовая работа
по неорганической химии
студента 102 группы
Михайлова А. В.

Научные руководители:
канд. хим. наук, старший научный
сотрудник Васильев В. А.,
аспирант 2-го года обучения
Петров И. М.

Преподаватель группы:
канд. хим. наук, доцент
Полякова И. Н.

Москва 2003 г.

Рис. П1.1. Пример оформления титульного листа курсовой работы

При оформлении списка цитируемой литературы следует придерживаться правил, принятых в РЖ «Химия». Примеры оформления литературных ссылок.

1. Молодкин А. К., Иванова О. М. // ЖНХ. 1966. — Т. 11. — № 10. — С. 2456.
2. Щелоков Р. Н., Орлова И. М., Сергеев А. В. // ДАН СССР. — 1980. — Т. 255. — № 4. — С. 895.
3. Щелоков Р. Н., Орлова И. М., Сергеев А. В., Бейрахов А. Г. // Коорд. химия. — 1981. — Т. 7. — № 7. — С. 1062.
4. Комплексные соединения урана / Под ред И. И. Черняева. — М.: Наука, 1964. — С. 404.
5. Блатов В. А., Серезжин В. Н. // Деп. в ВИНТИ 08.12.1989. № 7303-89.
6. Щелоков Р. Н. Химия платиновых и тяжелых металлов. — М.: Наука, 1975. — С. 110.
7. 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.
8. Maescke H. R., Riesen A., Ritter W. // J. Inorg. Nucl. Chem. — 1989. — V. 30. — № 7. — P. 1235.
9. Miller S. A., Taylor J. C. // Z. Kristallogr. — 1986. — В. 177. — № 3—4. — S. 247.
10. Борисов А. П., Махаев В. Д. Пат. 2027697 РФ // Б.Н. 1995. № 3.
11. Fitch A. N., Fender B. E. F. // Compt. Rend. 1983. V. 39. P. 162.

Справочные таблицы

Таблица П2.1

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
Газовая постоянная	R	$8,314$ Дж/(К · моль) = 1,987 кал/(К · моль) = = 0,08205 л · атм/(К · моль)
Постоянная Больцмана	k	$1,381 \cdot 10^{-23}$ Дж/К

Таблица П.2.2

Соотношения между единицами энергии

Единица	Дж/моль	кал/моль	эВ	см ⁻¹
1 Дж/моль	—	0,2390	$1,036 \cdot 10^{-5}$	$8,359 \cdot 10^{-2}$
1 кал/моль	4,184	—	$4,336 \cdot 10^{-5}$	0,3497
1 эВ	$96,49 \cdot 10^3$	$23,060 \cdot 10^3$	—	$8,065 \cdot 10^3$
1 см ⁻¹	11,96	2,859	$1,240 \cdot 10^{-4}$	—

Соотношения между единицами измерений

1 атм = 101325 Па = 101,325 кПа = 0,101325 МПа

1 атм = 1,01325 бар = 760 мм рт. ст.

1 мм рт. ст. = 1 тор = 133,32 Па

1 бар = $1 \cdot 10^5$ Па = 0,9869 атм1 микрон (мк, μ) = 1 мкм = $1 \cdot 10^{-6}$ м1 ангстрем (Å) = $1 \cdot 10^{-10}$ м = 0,1 нм

Таблица П2.3

Десятичные приставки

Приставка	Обозначение		Множитель	Приставка	Обозначение		Множитель
	русское	международное			русское	международное	
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}

Растворимость неорганических веществ в воде

Элемент	Формула	Твердая фаза*	Растворимость безводного вещества, г/100 г воды, при										
			0 °C	10 °C	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C	90 °C	100 °C
H	H ₂	—	2,0 · 10 ⁻⁴	1,7 · 10 ⁻⁴	1,6 · 10 ⁻⁴	1,5 · 10 ⁻⁴	1,4 · 10 ⁻⁴	1,3 · 10 ⁻⁴	1,2 · 10 ⁻⁴	1,0 · 10 ⁻⁴	0,8 · 10 ⁻⁴	0,5 · 10 ⁻⁴	—
Li	Li ₂ CO ₃	—	1,54	1,43	1,33	1,25	1,17	1,08	1,01	—	0,85	—	0,75
	LiOH*	H ₂ O	11,9	12,1	12,3	12,7	13,2	13,8	14,6	—	16,6	—	19,1
	Li ₂ SO ₄	—	35,3	35,0	34,2	33,5	32,8	32,5	31,9	—	30,7	—	29,9
Na	Na ₂ B ₄ O ₇	10H ₂ O	1,3	1,6	2,7	3,9	6,7	10,5	20,3	—	—	—	—
		5H ₂ O	—	—	—	—	—	—	—	24,4	31,5	41,0	52,5
	NaHCO ₃	—	6,9	8,15	9,6	11,1	12,7	14,45	16,4	—	—	—	—
	Na ₂ CO ₃	10H ₂ O	7,0	12,5	21,5	38,8	—	—	—	—	—	—	—
		H ₂ O	—	—	—	—	48,5	—	46,4	—	45,8	45,7	45,5
	NaNO ₂	—	72,1	77,9	84,5	91,6	98,4	104,1	—	—	132,5	—	163,1
	NaNO ₃	—	73	80	88	96	104	114	124	—	148	—	180
	Na ₂ SO ₃	7H ₂ O	13,9	20	26,9	36	—	—	—	—	—	—	—
	Na ₂ SO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Na ₂ SO ₄	10H ₂ O	4,5	8,2	16,1	—	—	—	—	—	—	—	—
	7H ₂ O	16,4	23,4	32,5	—	—	—	—	—	—	—	—	
	H ₂ O	—	—	—	—	32,5	—	—	—	—	—	—	
	12H ₂ O	37,44	39,33	39,72	41,74	44,01	—	—	—	—	—	—	
	NaCl	—	35,8	36,0	36,3	36,6	37,0	37,3	37,8	38,4	39,0	39,8	
	NaClO ₃	—	79	89	101	126	140	155	172	189	—	230	
	NaVO ₃	—	14,47	19,47	22,76	26,23	29,52	32,94	40,92	—	—	—	
	NaWO ₄	10H ₂ O	57,58	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		2H ₂ O	—	72,06	72,95	75,28	77,65	80,57	83,89	87,80	90,88	94,02	97,88

Элемент	Формула	Твердая фаза*	Растворимость безводного вещества, г/100 г воды, при											
			0°C	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C	80°C	90°C	100°C	
Sr	Sr(OH) ₂	8H ₂ O	0,41	0,56	0,81	1,18	1,76	2,55	3,66	5,30	8,23	15,9	28,3	
Ba	Ba(NO ₃) ₂	H ₂ O	45,8	57,0	70,4	87,6	108,0	126,2	158,4	184,4	213,5	255,9	313,2	
	Ba(OH) ₂	—	5,0	7,0	9,2	—	14,2	17,1	20,3	23,6	27,0	30,6	34,2	
	BaCl ₂	8H ₂ O	1,67	2,48	3,89	5,59	8,22	13,12	20,94	35,6	101,4	—	—	
B	H ₃ BO ₃	2H ₂ O	31,6	33,3	35,7	38,2	40,7	43,6	46,4	49,4	52,4	—	58,8	
		—	2,66	3,57	5,04	6,72	8,72	11,54	14,81	18,62	23,62	30,38	40,3	
Al	Al ₂ (SO ₄) ₃	18H ₂ O	31,2	33,5	36,4	40,4	45,5	57,2	59,2	66,2	73,1	86,2	89,0	
	AlCl ₃	6H ₂ O	43,8	44,9	45,9	46,6	47,3	—	48,1	—	48,6	—	49,0	
C	CO	—	4,4 · 10 ⁻³	3,5 · 10 ⁻³	2,8 · 10 ⁻³	2,4 · 10 ⁻³	2,1 · 10 ⁻³	1,8 · 10 ⁻³	1,5 · 10 ⁻³	1,3 · 10 ⁻³	1,0 · 10 ⁻³	6 · 10 ⁻⁴	—	
	CO ₂	—	0,3346	0,2318	0,1688	0,1257	0,0973	0,0761	0,0576	—	—	—	—	
Pb	Pb(CH ₃ COO) ₂	3H ₂ O	19,8	29,5	40,3	69,8	116,0	202,6	—	—	—	—	—	
	Pb(NO ₃) ₂	—	38,8	48,3	56,5	66	75	85	95	—	115	—	138,8	
	PbCl ₂	—	0,673	—	0,99	1,2	1,45	1,70	1,98	—	2,62	—	3,34	
	PbI ₂	—	0,044	—	0,068	0,090	0,125	0,164	0,197	—	0,302	—	0,44	
N	NH ₃	—	89,7	68,3	52,9	40,9	31,6	23,5	16,8	11,1	6,5	3,0	—	
	(NH ₄) ₂ Fe(SO ₄) ₂	6H ₂ O	12,5	16,1	22,5	—	33,0	39,9	53,4	—	73,0	—	—	
	NH ₄ Cr(SO ₄) ₂	12H ₂ O	3,9	—	—	11,9	18,3	—	—	—	—	—	—	
	NH ₄ Cl	—	29,4	33,3	37,2	41,4	45,8	50,4	55,2	60,2	65,6	71,3	77,3	
	NH ₄ NO ₃	—	118,3	—	192,0	241,8	297,0	344,0	421,0	499,0	580,0	740,0	871,0	
NH ₄ HCO ₃	—	11,9	16,1	21,4	28,4	36,6	46,2	59,2	78,6	109,2	170,3	354,5		
NH ₄ VO ₃	—	—	—	4,8	8,4	13,2	17,8	—	—	30,5	—	—	—	

N₂	—	$2,9 \cdot 10^{-3}$	—	$1,9 \cdot 10^{-3}$	—	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	—	$1,7 \cdot 10^{-1}$	—
N₂O	—	0,181	$0,1332$	0,077	—	—	—	—	—	—	—
NO	—	$9,8 \cdot 10^{-3}$	$7,6 \cdot 10^{-3}$	$6,2 \cdot 10^{-3}$	$5,2 \cdot 10^{-3}$	$4,4 \cdot 10^{-3}$	$3,8 \cdot 10^{-3}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$
O	—	$6,9 \cdot 10^{-3}$	$5,4 \cdot 10^{-3}$	$4,3 \cdot 10^{-3}$	$3,5 \cdot 10^{-3}$	$3,1 \cdot 10^{-3}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$7,9 \cdot 10^{-4}$
S	—	0,699	0,502	0,378	0,294	0,232	0,186	0,146	0,109	0,076	0,041
SO₂	—	22,83	16,21	11,29	7,81	5,41	4,5	3,2	2,6	2,1	1,8
Cl	—	1,46	0,980	0,716	0,562	0,451	0,386	0,324	0,274	0,219	0,125
HCl	—	82,3	—	—	67,3	63,3	59,6	56,1	—	—	—
Br₂	—	4,22	3,4	3,2	3,13	—	—	—	—	—	—
HBr	—	221,0	210,2	198,2	—	—	171,4	—	—	—	130,0
I	—	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$1,9 \cdot 10^{-2}$	$2,9 \cdot 10^{-2}$	$4,0 \cdot 10^{-2}$	$5,6 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$	—	—
Mn	4H ₂ O	63,4	68,1	73,9	80,7	88,6	98,2	—	—	—	—
	2H ₂ O	—	—	—	—	—	—	108,6	110,6	112,7	114,1
Fe	7H ₂ O	15,65	20,5	26,5	32,9	40,2	48,6	—	—	—	—
	H ₂ O	—	—	—	—	—	—	—	50,9	43,6	37,3
Co	6H ₂ O	84,05	—	100,0	111,4	126,8	—	—	—	—	—
	3H ₂ O	—	—	—	—	—	—	167,4	184,8	220,5	334,8
	6H ₂ O	43,5	47,7	52,9	59,7	69,2	—	—	—	—	—
	2H ₂ O	—	—	—	—	—	88,7	93,8	95,3	97,6	101,2
Ni	7H ₂ O	27,22	32,0	—	42,46	—	—	—	—	—	—
	6H ₂ O	—	—	—	—	—	50,15	54,80	59,44	63,17	76,7
	6H ₂ O	53,4	56,5	61,0	—	—	—	—	—	—	—
	4H ₂ O	—	—	—	71,5	73,6	76,1	81,2	—	—	—
	2H ₂ O	—	—	—	—	—	—	—	85,9	86,6	86,9
Cu	6H ₂ O	81,8	100,0	124,8	—	—	—	—	—	—	—
	3H ₂ O	—	—	—	154,4	163,1	171,8	181,8	194,1	207,8	222,5
	5H ₂ O	14,3	17,4	20,7	25,0	28,5	33,3	40,0	47,1	55,0	64,2
	2H ₂ O	68,6	70,9	72,7	77,3	80,8	84,2	87,6	92,3	96,1	103,6
											110,0

Эле- мент	Формула	Твердая фаза*	Растворимость безводного вещества, г/100 г воды, при												
			0°C	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C	80°C	90°C	100°C		
Ag	AgNO ₃		125,2	172,5	227,9	284,6	342,5	405,1	465,0	541,0	635,3	747,5	900,0		
Zn	ZnSO ₄	7H ₂ O	41,9	47,0	54,4	—	—	—	—	—	—	—	—		
	*	6H ₂ O	—	—	—	—	70,4	—	—	—	—	—	—		
		H ₂ O	—	—	—	—	—	—	76,5	—	66,7	—	60,5		
Cd	CdI ₂	—	79,8	83,2	86,2	89,7	93,8	97,4	100,4	110,0	—	—	124,9		
Hg	HgCl ₂	—	4,3	5,6	6,6	8,3	9,9	11,1	14,9	17,2	24,2	37,2	63,6		

* В этой колонке указан состав кристаллогидрата.

Давление насыщенного водяного пара, мм рт. ст., над водой при разных температурах, °С

Десятки °С	Единицы °С									
	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

Произведения растворимости при 20—25 °С

Элемент	Вещество	ПР	рПР	Элемент	Вещество	ПР	рПР
Li	Li ₂ CO ₃	4,0 · 10 ⁻³	2,40	La	La ₂ (CO ₃) ₃	4,0 · 10 ⁻³⁴	33,4
	Li ₃ PO ₄	3,2 · 10 ⁻⁹	8,50		La ₂ (C ₂ O ₄) ₃	1,0 · 10 ⁻²⁵	25
	LiOH	4,0 · 10 ⁻²	2,40		La(OH) ₃ (свежесоажденный)	6,5 · 10 ⁻²⁰	19,19
	LiF	1,7 · 10 ⁻³	2,77		La(OH) ₃ (состарен)	2,0 · 10 ⁻²²	21,7
Na	Na ₂ [BeF ₄]	4,0 · 10 ⁻³	2,15	La ₂ S ₃	2,0 · 10 ⁻¹³	12,7	
	Na ₃ [AlF ₆]	4,1 · 10 ⁻¹⁰	9,39	Zr ₃ (PO ₄) ₄	1,0 · 10 ⁻¹³²	132,0	
	Na ₂ [SiF ₆]	2,8 · 10 ⁻⁴	3,56	Zr(OH) ₄	7,9 · 10 ⁻⁵⁵	54,1	
	Na[Sb(OH) ₆]	4,0 · 10 ⁻⁸	7,40	(VO) ₃ (PO ₄) ₂	8,0 · 10 ⁻²⁵	24,1	
	NaIO ₄	3,0 · 10 ⁻³	2,50	VO(OH) ₂	1,9 · 10 ⁻²⁴	23,72	
K	K ₃ [AlF ₆]	1,6 · 10 ⁻⁹	8,80	CrPO ₄ (зеленый)	2,4 · 10 ⁻²³	22,62	
	K ₂ [SiF ₆]	8,7 · 10 ⁻⁷	6,06	Cr(OH) ₂	1,0 · 10 ⁻¹⁷	17,0	
	KClO ₄	1,1 · 10 ⁻²	1,97	Cr(OH) ₃	6,3 · 10 ⁻³¹	30,2	
	KIO ₄	8,3 · 10 ⁻⁴	3,08	Mo(OH) ₄	1 · 10 ⁻⁵⁶	56	
	K ₂ Na[Co(NO ₂) ₆]	2,2 · 10 ⁻¹¹	10,70	Mo(OH) ₄	1 · 10 ⁻⁵⁰	50	
	K ₂ [PtCl ₆]	1,1 · 10 ⁻⁵	4,96	MnCO ₃	1,8 · 10 ⁻¹¹	10,74	
Rb	RbClO ₄	2,5 · 10 ⁻³	2,60	Mn ₂ O ₄	5,0 · 10 ⁻⁶	5,3	
	RbBrO ₃	2,0 · 10 ⁻²	1,70	MnNH ₄ PO ₄	1,0 · 10 ⁻¹²	12,0	
	RbIO ₄	5,5 · 10 ⁻⁴	3,26	Mn(OH) ₂	1,9 · 10 ⁻¹³	12,72	
	RbMnO ₄	2,9 · 10 ⁻³	2,54	Mn(OH) ₃	1,0 · 10 ⁻³⁶	36,0	
Cs	Cs ₂ [SnCl ₆]	3,6 · 10 ⁻⁸	7,44	Mn(OH) ₄	1,0 · 10 ⁻⁵⁶	56,0	
	CsClO ₃	4,0 · 10 ⁻²	1,40	MnS (телесного)	2,5 · 10 ⁻¹⁰	9,6	
	CsClO ₄	4,0 · 10 ⁻¹	2,40	FeCO ₃	3,5 · 10 ⁻¹¹	10,46	

Mg	CsMnO ₄	9,1 · 10 ⁻⁵	4,08	FeC ₂ O ₄ Fe ₄ [Fe(CN ₆) ₃] FePO ₄ Fe(OH) ₂ Fe(OH) ₃ (св. осажд.) Fe(OH) ₃ (состарен) FeS FeS ₂	2,0 · 10 ⁷	6,7
	Cs ₂ PtCl ₆	3,0 · 10 ⁻⁸	7,5		3,0 · 10 ⁻⁴¹	40,52
Ca	MgCO ₃	2,1 · 10 ⁻⁵	4,67	Co Ni	1,3 · 10 ⁻²²	21,89
	MgNH ₄ PO ₄	2,5 · 10 ⁻¹³	12,6		7,1 · 10 ⁻¹⁶	15,15
	Mg ₃ (PO ₄) ₂	1,0 · 10 ⁻¹³	13,0		6,3 · 10 ⁻³⁸	37,2
	Mg(OH) ₂	6,0 · 10 ⁻¹⁰	9,22		3,2 · 10 ⁻⁴⁰	39,5
	MgF ₂	6,5 · 10 ⁻⁹	8,19		5,0 · 10 ⁻¹⁸	17,3
	CaCO ₃	3,8 · 10 ⁻⁹	8,42		6,3 · 10 ⁻³¹	30,2
	CaC ₂ O ₄	2,3 · 10 ⁻⁸	8,64		1,05 · 10 ⁻¹⁰	9,98
	Ca(H ₂ PO ₄) ₂	1,0 · 10 ⁻³	3,0		6,3 · 10 ⁻⁸	7,2
	CaHPO ₄	2,7 · 10 ⁻⁷	6,57		4,8 · 10 ⁻³⁸	37,32
	Ca ₃ (PO ₄) ₂	2,0 · 10 ⁻²⁹	28,7		6,3 · 10 ⁻¹⁵	14,2
Sr	Ca(OH) ₂	6,5 · 10 ⁻⁶	5,19	1,6 · 10 ⁻¹⁵	14,8	
	CaSO ₃	3,2 · 10 ⁻⁷	6,5	2,0 · 10 ⁻¹⁶	15,70	
	CaSO ₄	2,5 · 10 ⁻⁵	4,6	4,0 · 10 ⁻⁴⁵	44,4	
	CaCrO ₄	7,1 · 10 ⁻⁴	3,15	4,0 · 10 ⁻²¹	20,4	
	CaWO ₄	9,0 · 10 ⁻⁹	8,06	2,0 · 10 ⁻²⁵	24,70	
	CaF ₂	4,0 · 10 ⁻¹¹	10,40			
	SrCO ₃	1,1 · 10 ⁻¹⁰	9,96	1,3 · 10 ⁻⁷	6,87	
	SrC ₂ O ₄	1,6 · 10 ⁻⁷	6,80	4,0 · 10 ⁻¹⁰	9,4	
	Sr ₃ (PO ₄) ₂	1,0 · 10 ⁻³¹	31,0	1,3 · 10 ⁻¹⁵	14,89	
	Sr(OH) ₂	3,2 · 10 ⁻⁴	3,50	1,7 · 10 ⁻¹³	12,77	
Ba	SrSO ₄	3,2 · 10 ⁻⁷	6,49	2,0 · 10 ⁻¹⁵	14,89	
	SrF ₂	2,5 · 10 ⁻⁹	8,61	6,3 · 10 ⁻¹⁸	17,20	
	BaCO ₃	4,0 · 10 ⁻¹⁰	9,40	3,2 · 10 ⁻¹⁹	18,5	
	BaC ₂ O ₄	1,1 · 10 ⁻⁷	6,96	1,0 · 10 ⁻²⁴	24,0	

Элемент	Вещество	ПР	ρПР	Элемент	Вещество	ПР	ρПР	
	$Ba_3(PO_4)_2$	$6,0 \cdot 10^{-29}$	38,22	Pt	$PtCl_4$	$8,0 \cdot 10^{-29}$	28,1	
	$Ba(OH)_2$	$5,0 \cdot 10^{-3}$	2,3		$PtBr_4$	$3,0 \cdot 10^{-41}$	40,5	
	BaS_2O_3	$1,6 \cdot 10^{-5}$	4,79		PtS	$8,0 \cdot 10^{-73}$	72,1	
	$BaSO_3$	$8,0 \cdot 10^{-7}$	6,1	Cu	$CuCN$	$3,2 \cdot 10^{-20}$	19,49	
	$BaSO_4$	$1,1 \cdot 10^{-10}$	9,97		$CuSCN$	$4,8 \cdot 10^{-15}$	14,32	
	BaF_2	$1,1 \cdot 10^{-6}$	5,98		Cu_2S	$2,5 \cdot 10^{-48}$	47,60	
	$Ba(IO_3)_2$	$1,5 \cdot 10^{-9}$	8,82		$CuCl$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	5,92	
	$BaCrO_4$	$1,2 \cdot 10^{-10}$	9,93		$CuBr$	$5,25 \cdot 10^{-9}$	8,28	
	$BaMoO_4$	$4,0 \cdot 10^{-8}$	7,40		CuI	$1,1 \cdot 10^{-12}$	11,96	
	$BaMnO_4$	$2,5 \cdot 10^{-10}$	9,60		$CuCO_3$	$2,5 \cdot 10^{-10}$	9,6	
	$BaFeO_4$				Cu_2O_4	$3,0 \cdot 10^{-9}$	7,5	
	Al	$AlPO_4$	$5,75 \cdot 10^{-19}$		18,24	$Cu_3P_2O_7$	$8,3 \cdot 10^{-16}$	15,08
		$Al(OH)_3$	$3,2 \cdot 10^{-34}$		33,5	$Cu(OH)_2$	$8,3 \cdot 10^{-20}$	19,08
In	In_2S_3	$5,75 \cdot 10^{-74}$	73,24	$Cu_2(OH)_2CO_3$	$1,7 \cdot 10^{-34}$	33,76		
	$In(OH)_3$	$1,2 \cdot 10^{-37}$	36,92	$Cu_3(OH)_2(CO_3)_2$	$1,1 \cdot 10^{-46}$	45,96		
Ga	$Ga(OH)_3$	$1,6 \cdot 10^{-37}$	36,8	CuS	$6,3 \cdot 10^{-36}$	35,2		
	$Tl(OH)_3$	$1,3 \cdot 10^{-46}$	45,9	$CuCrO_4$	$3,6 \cdot 10^{-6}$	5,44		
Tl	Tl_2S	$5,0 \cdot 10^{-21}$	20,30	Ag	Ag_2CO_3	$1,2 \cdot 10^{-12}$	11,09	
	$TlCl$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	3,76		$AgCN$	$1,4 \cdot 10^{-16}$	15,84	
	TlI	$5,75 \cdot 10^{-8}$	7,24		$AgSCN$	$1,1 \cdot 10^{-12}$	11,97	
	$Ge(OH)_4$	$3,0 \cdot 10^{-57}$	57		Ag_3PO_4	$1,3 \cdot 10^{-20}$	19,89	
Ge	GeS	$3,0 \cdot 10^{-35}$	34,5	Ag_2S	$6,3 \cdot 10^{-50}$	49,2		
	GeS_2			$AgCl$	$1,78 \cdot 10^{-10}$	9,75		

Sn	Sn(OH) ₄	1,0 · 10 ⁻⁵⁷	57	AgBr	5,3 · 10 ⁻¹³	12,28
	Sn(OH) ₂	6,3 · 10 ⁻²⁷	26,2	AgI	8,3 · 10 ⁻¹⁷	16,08
	SnS	2,5 · 10 ⁻²⁷	26,6	AgBrO ₃	5,5 · 10 ⁻⁵	12,28
	SnI ₂	8,3 · 10 ⁻⁶	5,08	Ag ₂ HVO ₄	2,0 · 10 ⁻¹⁴	13,7
Pb	PbCO ₃	7,5 · 10 ⁻¹⁴	13,13	AgVO ₃	5,0 · 10 ⁻⁷	6,3
	PbC ₂ O ₄	4,8 · 10 ⁻¹⁰	9,32	Ag ₂ CrO ₄	1,1 · 10 ⁻¹²	11,95
	Pb ₃ (PO ₄) ₂	7,9 · 10 ⁻⁴³	42,0	Ag ₂ Cr ₂ O ₇	1,1 · 10 ⁻¹⁰	10
	Pb(OH) ₂	5,0 · 10 ⁻¹⁶	15,28	Ag ₂ MoO ₄	2,8 · 10 ⁻¹²	11,55
	Pb(SCN) ₂	2,0 · 10 ⁻⁵	4,70	Ag ₂ WO ₄	5,5 · 10 ⁻¹²	11,26
	PbS	2,5 · 10 ⁻²⁷	26,6	AuCl	2,0 · 10 ⁻¹³	12,7
	PbS ₂ O ₃	4,0 · 10 ⁻⁷	6,40	AuBr	5,0 · 10 ⁻¹⁷	16,3
	PbSO ₄	1,6 · 10 ⁻⁸	7,80	AuI	1,6 · 10 ⁻²³	22,8
	PbCl ₂	1,6 · 10 ⁻⁵	4,79	ZnCO ₃	1,45 · 10 ⁻¹¹	10,84
	PbBr ₂	9,1 · 10 ⁻⁶	5,04	Zn ₃ (PO ₄) ₂	9,1 · 10 ⁻³³	32,04
Sb	PbI ₂	1,1 · 10 ⁻⁹	8,98	Zn(OH) ₂	1,4 · 10 ⁻¹⁷	16,86
	PbCrO ₄	1,8 · 10 ⁻¹⁴	13,75	ZnS (сфалерит)	1,6 · 10 ⁻²⁴	23,80
	PbMoO ₄	4,0 · 10 ⁻⁶	5,4	ZnS (вюрцит)	2,5 · 10 ⁻²²	21,60
	PbWO ₄	4,5 · 10 ⁻⁷	6,35	Zn(OH) ₂ (св. осажд.)	2,2 · 10 ⁻¹⁴	13,66
	Sb(OH) ₃	1,7 · 10 ⁻³⁸	37,76	Zn(OH) ₂ (состарен)	5,9 · 10 ⁻¹⁵	14,23
	Sb ₂ S ₃	1,6 · 10 ⁻²³	92,80	CdCO ₃	1,0 · 10 ⁻¹²	12,00
Bi	Bi ₂ (C ₂ O ₄) ₃	4,0 · 10 ⁻³⁶	35,4	CdC ₂ O ₄	1,5 · 10 ⁻⁸	7,8
	BiPO ₄	1,3 · 10 ⁻²³	22,9	CdS	1,6 · 10 ⁻²⁸	27,8
	(BiO)OH	4,9 · 10 ⁻¹⁰	9,4	Hg ₂ CO ₃	8,9 · 10 ⁻¹⁷	16,05
	Bi ₂ S ₃	1,0 · 10 ⁻⁹⁷	97	Hg ₂ Cl ₂	1,3 · 10 ⁻¹⁸	17,88
	BiI ₃	8,1 · 10 ⁻¹⁹	18,09	HgS (черный)	1,6 · 10 ⁻³²	51,8
				HgS (красный)	4,0 · 10 ⁻⁵³	52,4

Константы диссоциации кислот (при 25 °С)

Формула	K_i^*	K_a	pK_a	Формула	K_i^*	K_a	pK_a
H ₃ BO ₃	K_1	$7,1 \cdot 10^{-10}$	9,15	H ₂ SO ₃	K_1	$1,4 \cdot 10^{-2}$	1,85
H ₂ B ₄ O ₇	K_1	$1,8 \cdot 10^{-4}$	3,74		K_2	$6,2 \cdot 10^{-8}$	7,20
	K_2	$2,0 \cdot 10^{-8}$	7,70	H ₂ SO ₄	K_1	—	—3
CO ₂ (aq) + H ₂ O	K_1	$4,5 \cdot 10^{-7}$	6,35		K_2	$1,15 \cdot 10^{-2}$	1,94
	K_2	$4,8 \cdot 10^{-11}$	10,32	H ₂ Se	K_1	$1,3 \cdot 10^{-4}$	3,89
HCOOH	—	$1,8 \cdot 10^{-4}$	3,75		K_2	$1,0 \cdot 10^{-11}$	11,0
CH ₃ COOH	—	$1,74 \cdot 10^{-5}$	4,76	H ₂ SeO ₃	K_1	$1,8 \cdot 10^{-3}$	2,75
CH ₂ ClCOOH	—	$1,4 \cdot 10^{-3}$	2,86		K_2	$3,2 \cdot 10^{-9}$	8,50
CCl ₃ COOH	—	$2,0 \cdot 10^{-1}$	0,70	H ₂ SeO ₄	K_1	—	-1,0
H ₂ C ₂ O ₄	K_1	$5,6 \cdot 10^{-2}$	1,25		K_2	$1,2 \cdot 10^{-2}$	1,92
	K_2	$5,4 \cdot 10^{-5}$	4,27	H ₂ Te	K_1	$2,3 \cdot 10^{-3}$	2,64
HCN		$5,0 \cdot 10^{-10}$	9,30		K_2	$6,9 \cdot 10^{-13}$	12,16
H ₄ SiO ₄	K_1	$1,3 \cdot 10^{-10}$	9,9	H ₂ TeO ₃	K_1	$2,7 \cdot 10^{-3}$	2,57
H ₄ GeO ₄	K_1	$7,9 \cdot 10^{-10}$	9,10		K_2	$1,8 \cdot 10^{-8}$	7,74
	K_2	$2,0 \cdot 10^{-13}$	12,7	H ₆ TeO ₆	K_1	$2,45 \cdot 10^{-8}$	7,61
HN ₃	—	$2,0 \cdot 10^{-5}$	4,70		K_2	$1,1 \cdot 10^{-11}$	10,95
H ₂ N ₂ O ₂	K_1	$6,2 \cdot 10^{-8}$	7,21		K_3	$1,1 \cdot 10^{-15}$	15
	K_2	$2,9 \cdot 10^{-12}$	11,54	HF	—	$6,2 \cdot 10^{-1}$	3,21
HNO ₂	—	$5,1 \cdot 10^{-4}$	3,29	HCl	—	—	-7
HNO ₃	—	—	-1,32	HBr	—	—	-9
H ₃ PO ₂	—	$5,9 \cdot 10^{-2}$	1,23	HI	—	—	-10
H ₃ PO ₃	K_1	$3,1 \cdot 10^{-2}$	1,51	HClO	—	$2,95 \cdot 10^{-8}$	7,53
	K_2	$1,6 \cdot 10^{-7}$	6,79	HClO ₂	—	$1,1 \cdot 10^{-2}$	-1,97
H ₃ PO ₄	K_1	$7,1 \cdot 10^{-3}$	2,15	HClO ₃	—	—	-1,2
	K_2	$6,2 \cdot 10^{-8}$	7,21	HClO ₄	—	—	-10
	K_3	$5,0 \cdot 10^{-13}$	12,30	HBrO	—	$2,2 \cdot 10^{-9}$	8,66
H ₄ P ₂ O ₆	K_1	$6,3 \cdot 10^{-3}$	2,20	HBrO ₃	—	$2,0 \cdot 10^{-1}$	0,70
	K_2	$1,6 \cdot 10^{-3}$	2,81	HIO	—	$2,3 \cdot 10^{-11}$	10,64
	K_3	$5,4 \cdot 10^{-8}$	7,27	HIO ₃	—	$1,7 \cdot 10^{-1}$	0,77
	K_4	$9,3 \cdot 10^{-11}$	10,03	H ₅ IO ₆	K_1	$2,45 \cdot 10^{-2}$	1,61
H ₃ AsO ₃	K_1	$5,9 \cdot 10^{-10}$	9,23		K_2	$4,3 \cdot 10^{-9}$	8,33
H ₃ AsO ₄	K_1	$5,6 \cdot 10^{-3}$	2,25		K_3	$1,0 \cdot 10^{-15}$	15,0
	K_2	$1,7 \cdot 10^{-7}$	6,77	H ₃ VO ₄	K_1	$1,8 \cdot 10^{-4}$	3,74
	K_3	$2,95 \cdot 10^{-12}$	11,53		K_2	$3,2 \cdot 10^{-10}$	9,50
H[Sb(OH) ₆]	—	$4,0 \cdot 10^{-10}$	4,40		K_3	$4,0 \cdot 10^{-15}$	14,4
H ₂ O ₂	K_1	$2,0 \cdot 10^{-12}$	11,70	H ₂ Cr ₂ O ₇	K_2	$2,3 \cdot 10^{-2}$	1,64
H ₂ S	K_1	$1,0 \cdot 10^{-7}$	6,99	H ₂ CrO ₄	K_1	$1,6 \cdot 10^{-1}$	0,80
	K_2	$2,5 \cdot 10^{-13}$	12,60		K_2	$3,2 \cdot 10^{-7}$	6,50
H ₂ S ₂ O ₃	K_p	$2,5 \cdot 10^{-1}$	0,60	H ₂ MnO ₄	K_1	$\sim 10^{-1}$	-1
	K_2	$1,9 \cdot 10^{-2}$	1,72		K_2	$7,1 \cdot 10^{-11}$	10,15
H ₂ S ₂ O ₆	K_1	$6,3 \cdot 10^{-1}$	0,20	H ₄ [Fe(CN) ₆]	K_3	$\sim 10^{-2}$	-2
	K_2	$4,0 \cdot 10^{-4}$	3,40		K_4	$\sim 10^{-4}$	-4

* $i = 1, 2, 3, 4$.

Логарифмы констант устойчивости (β_i) комплексных соединений (при 25 °С; $M^{n+} + iL^{z-} = [ML_i]^{n+z}$)

Центральный атом	$\lg\beta_1$	$\lg\beta_2$	$\lg\beta_3$	$\lg\beta_4$	$\lg\beta_5$	$\lg\beta_6$	Центральный атом	$\lg\beta_1$	$\lg\beta_2$	$\lg\beta_3$	$\lg\beta_4$	$\lg\beta_5$	$\lg\beta_6$	
<i>Комплексы с аммиаком (NH₃)</i>														
Co ²⁺	1,99	3,50	4,43	5,07	5,13	4,39	Au ⁺	—	38,3	—	—	—	—	
Co ³⁺	7,3	14,0	20,1	25,7	30,8	35,21	Au ³⁺	—	—	—	56	—	—	
Fe ²⁺	1,4	2,2	—	3,7	—	—	Zn ²⁺	—	11,07	16,05	19,62	—	—	
Ni ²⁺	2,67	4,79	6,40	7,47	8,10	8,01	Cd ²⁺	5,18	9,60	13,92	17,11	—	—	
Ag ⁺	3,32	7,23	—	—	—	—	Hg ²⁺	17,0	32,75	36,31	38,97	39,83	40,62	
Cu ⁺	5,93	10,86	—	—	—	—	Co ²⁺	—	—	—	—	—	19,9	
Cu ²⁺	3,99	7,33	10,06	12,03	11,43	8,9	Co ³⁺	—	—	—	—	—	64	
Zn ²⁺	2,18	4,43	6,93	9,08	9,46	12,75	<i>Роданидные комплексы (SCN⁻)</i>							—
Cd ²⁺	2,51	4,47	5,77	6,56	6,26	4,56	Fe ²⁺	1,31	0,43	—	—	—	—	
Hg ²⁺	8,8	17,5	18,5	19,3	—	—	Fe ³⁺	3,03	4,33	4,63	4,53	4,23	3,23	
<i>Гидроксиокомплексы (OH⁻)</i>														
Li ⁺	0,36	—	—	—	—	—	Ag ⁺	4,75	8,23	9,45	9,67	—	—	
Be ²⁺	8,60	14,35	18,74	18,57	—	—	Zn ²⁺	1,57	1,56	1,51	3,02	—	—	
Mg ²⁺	2,56	—	—	—	—	—	Hg ²⁺	—	17,6	20,40	21,20	—	—	
Ca ²⁺	1,15	2,55	—	—	—	—	<i>Тиосульфатные комплексы (S₂O₃²⁻)</i>							—
Sr ²⁺	0,17	—	—	—	—	—	Pb ²⁺	2,7	5,13	6,35	7,2	—	—	
Ba ²⁺	0,53	1,17	—	—	—	—	Cu ⁺	10,35	12,27	13,71	—	—	—	
							Cu ²⁺	—	12,29	—	—	—	—	
							Ag ⁺	8,82	13,46	14,15	—	—	—	

Центральный атом	lgβ ₁	lgβ ₂	lgβ ₃	lgβ ₄	lgβ ₅	lgβ ₆	Центральный атом	lgβ ₁	lgβ ₂	lgβ ₃	lgβ ₄	lgβ ₅	lgβ ₆
Al ³⁺	9,03	18,7	27	33	—	—	Zn ²⁺	2,29	4,59	—	—	—	—
Ga ³⁺	11,4	22,1	31,7	39,4	—	—	Hg ²⁺	—	29,86	32,26	33,61	—	—
In ³⁺	10,0	20,18	29,6	33,93	—	—	<i>Фторидные комплексы (F⁻)</i>						
Tl ⁺	0,82	—	—	—	—	—	Be ²⁺	4,71	8,32	11,12	13,39	—	—
Tl ³⁺	13,38	26,43	38,7	41,0	—	—	Al ³⁺	7,10	11,98	15,83	18,53	20,20	20,67
Sn ²⁺	11,60	20,94	25,39	—	—	—	TiO ²⁺	6,65	11,74	16,32	20,38	—	—
Pb ²⁺	7,52	10,54	13,95	—	—	—	Fe ³⁺	6,04	10,74	13,74	15,74	16,10	16,10
AsO ⁺	14,33	18,73	20,60	21,2	—	—	<i>Хлоридные комплексы (Cl⁻)</i>						
Sb ³⁺	6,07	24,3	36,7	40,1	—	—	Sn ²⁺	1,51	2,24	2,03	1,48	—	—
Bi ³⁺	12,91	24	33,14	34,2	—	—	Pb ²⁺	1,62	2,44	2,04	1,0	—	—
Sc ³⁺	9,7	18,3	25,9	30	—	—	Bi ³⁺	2,43	4,7	5,0	5,6	6,1	6,42
La ³⁺	3,9	—	—	—	—	—	Fe ³⁺	1,45	2,10	1,10	-0,85	—	—
Ce ³⁺	4,6	—	—	—	—	—	Pt ²⁺	—	11,48	4,48	16,00	—	—
Ce ⁴⁺	12,9	27,7	—	—	—	—	Pd ²⁺	6,1	10,5	12,9	15,5	13,4	11,3
Ti ⁴⁺	18,0	35,2	47,7	58,7	—	—	Cu ⁺	—	5,35	5,63	—	—	—
Zr ⁴⁺	14,58	29,38	43,72	57,85	—	—	Ag ⁺	3,04	5,04	5,04	5,30	—	—
Hf ⁴⁺	14,12	27,89	41,47	54,95	—	—	Au ⁺	—	9,42	—	—	—	—
Th ⁴⁺	10,8	21,07	30,3	40,1	—	—	Au ³⁺	—	—	16,96	21,30	—	—
V ³⁺	11,74	21,75	—	—	—	—	Zn ²⁺	-0,19	0,18	-1,4	-1,52	—	—

Константы диссоциации слабых оснований (при 25 °С)

Формула	K_b	pK_b
$\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	2,74
$\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	$9,8 \cdot 10^{-7}$	6,01
NH_2OH	$9,6 \cdot 10^{-9}$	8,02

Таблица П2.11

Ионное произведение воды (K_w)

$t, ^\circ\text{C}$	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 П2.12

Плотность растворов некоторых кислот и оснований при 20 °С, г/см³

Концентрация, масс. %	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	—	—	—
80	1,732	1,460	—	1,0748	—	—	—
84	1,776	1,474	—	1,0742	—	—	—

Концентрация, масс.%	H ₂ SO ₄	HNO ₃	HCl	CH ₃ COOH	KOH	NaOH	NH ₃
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 П2.12

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 218																	He 0
2	Li 159	Be 324											B 563	C 717	N 473	O 249	F 79	Ne 0
3	Na 107	Mg 146											Al 326	Si 456	P 315	S 279	Cl 122	Ar 0
4	K 89	Ca 178	Sc 378	Ti 471	V 515	Cr 397	Mn 283	Fe 415	Co 426	Ni 431	Cu 338	Zn 131	Ga 277	Ge 377	As 303	Se 227	Br 112	Kr 0
5	Rb 81	Sr 165	Y 423	Zr 605	Nb 733	Mo 659	Tc 661	Ru 652	Rh 556	Pd 377	Ag 285	Cd 112	In 244	Sn 302	Sb 262	Te 197	I 107	Xe 0
6	Cs 76	Ba 182	La 423	Hf 621	Ta 782	W 860	Re 776	Os 789	Ir 671	Pt 564	Au 386	Hg 64	Tl 182	Pb 195	Bi 207	Po 142	At	Rn 0
				Ce 419	Pr 356	Nd 328	Pm 301	Sm 207	Eu 178	Gd 398	Tb 389	Dy 291	Ho 301	Er 317	Tm 232	Yb 152	Lu 414	
7			Ac 293	Th 575	Pa 481	U 482	Np 337	Pu 352	Am 239	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	

Таблица П2.13

Энергия одинарной ковалентной связи «элемент—элемент», 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												

Энергия диссоциации D_0 , кДж/моль, и межъядерные расстояния d , нм, двухатомных молекул и ионов

Молекула, ион	D_0 , кДж/моль	d , нм	Молекула, ион	D_0 , кДж/моль	d , нм	Молекула, ион	D_0 , кДж/моль	d , нм
Ag ₂	161	0,25	Cs ₂	38,0	0,458	Li ₂ ⁺	121	
Al ₂	172	0,247	Cu ₂	197,0	0,222	N ₂	945,3	0,110
As ₂	365	—	F ₂	155,0	0,142	N ₂ ⁺	842,7	0,118
Au ₂	226	0,247	F ₂ ⁺	320,0	0,133	N ₂ ⁻	744,8	0,125
B ₂	276	0,159	F ₂ ⁻	117,0	—	NO	631,6	0,115
Br ₂	190,1	0,128	H ₂	432,1	0,074	NO ⁻	1046	0,106
Br ₂ ⁺	316	—	H ₂ ⁺	255,7	0,106	Na ₂	71,1	0,309
Br ₂ ⁻	82	—	H ₂ ⁻	15,0	—	O ₂	493,6	0,121
C ₂	605,0	0,124	HBr	362,5	0,141	O ₂ ⁺	642,3	0,112
C ₂ ⁺	527	—	HCl	431,6	0,127	O ₂ ⁻	394	0,132
C ₂ ⁻	696,8	—	HF	565,7	0,092	P ₂	489,1	0,189
CN	801	0,117	HI	298,3	0,161	P ₂ ⁺	467	—
CN ⁺	439	—	HO	427,8	0,097	S ₂	425,5	0,189
CN ⁻	1003	0,114	He ₂ ⁺	230,0	0,108	S ₂ ⁺	518	—
CO	1070,3	0,128	I ₂	148,8	0,267	S ₂ ⁻	544	—
CO ⁺	805,4		I ₂ ⁺	250,0	—	Se ₂	305,2	0,216
Cl ₂	242,6	0,199	I ₂ ⁻	102,0	—	Te ₂	259	0,256
Cl ₂ ⁺	387,9	0,189	K ₂	53,6	0,392			
Cl ₂ ⁻	120	—	Li ₂	99,0	0,267			

Таблица П2.15

Потенциалы ионизации (ПИ) атомов, эВ

Атом	ПИ ₁	ПИ ₂	ПИ ₃	ПИ ₄	ПИ ₅	ПИ ₆	Атом	ПИ ₁	ПИ ₂	ПИ ₃	ПИ ₄	ПИ ₅	ПИ ₆
H	13,6	—	—	—	—	—	Te	9,01	18,5	28,0	37,4	58,7	70,7
He	24,6	54,4	—	—	—	—	I	10,4	19,1	33,2	—	—	—
Li	5,39	75,6	122	—	—	—	Xe	12,1	21,2	32,1	—	—	—
Be	9,32	18,2	154	218	—	—	Cs	3,89	23,1	34,6	—	—	—
B	8,30	25,1	37,9	259	340	—	Ba	5,21	10,0	35,9	—	—	—
C	11,3	24,4	47,9	64,5	392	490	La	5,58	11,1	19,2	49,9	—	—
N	14,5	29,6	47,4	77,5	97,9	552	Ce	5,47	10,8	20,2	36,7	—	—
O	13,6	35,1	54,9	77,4	114	138	Pr	5,42	10,5	21,6	39,0	57,5	—
F	17,4	35,0	62,7	87,1	114	157	Nd	5,49	10,7	22,1	40,4	60,0	—
Ne	21,6	41,0	63,5	97,1	126	158	Pm	5,56	10,9	22,3	41,1	61,7	—
Na	5,14	47,3	71,6	98,9	138	172	Sm	5,63	11,1	23,4	41,5	62,7	—

ЭЛЕМЕНТ	ПИ ₁	ПИ ₂	ПИ ₃	ПИ ₄	ПИ ₅	ПИ ₆	АТОМ	ПИ ₁	ПИ ₂	ПИ ₃	ПИ ₄	ПИ ₅	ПИ ₆
Mg	7,64	15,0	80,1	109	142	186	Eu	5,67	11,2	24,9	42,6	63,2	—
Al	5,99	18,8	28,4	120	154	190	Gd	6,14	12,1	20,6	43,9	64,8	—
Si	8,15	16,3	33,5	45,1	167	205	Tb	5,84	11,5	21,9	39,8	66,5	—
P	10,5	19,7	30,2	51,4	65,0	220	Dy	5,93	11,7	22,8	41,5	62,1	—
S	10,4	23,3	34,8	47,3	72,7	88,1	Ho	6,02	11,8	22,8	42,5	63,9	—
Cl	13,0	23,8	40,2	53,5	67,8	97,0	Er	6,10	11,9	22,7	42,6	65,1	—
Ar	15,8	27,6	40,7	59,8	75,0	91,0	Tm	6,18	12,0	23,7	42,7	65,4	—
K	4,34	31,6	45,7	60,9	82,7	100	Yb	6,25	12,2	25,0	43,7	65,6	—
Ca	6,11	11,9	50,9	67,1	84,4	109	Lu	5,42	13,9	21,0	45,2	66,8	—
Sc	6,54	12,8	24,7	73,5	91,7	111	Hf	6,78	14,9	23,3	33,3	68,4	—
Ti	6,74	13,6	27,5	43,3	99,2	119	Ta	7,89	16,2	—	—	—	—
V	6,74	14,6	29,3	46,7	65,3	128	W	8,98	17,7	—	—	—	—
Cr	6,77	15,5	30,9	49,1	69,3	90,6	Re	7,88	16,7	—	—	—	—
Mn	7,43	15,6	23,3	51,2	72,4	95,3	Os	8,71	16,6	24,9	—	—	—
Fe	8,23	16,2	30,6	54,8	75,0	99,5	Ir	9,12	16,6	—	—	—	—
Co	7,96	17,1	33,5	51,3	79,5	102	Pt	9,02	18,6	—	—	—	—
Ni	7,63	18,2	35,2	54,9	75,4	107	Au	9,22	20,5	39,5	—	—	—
Cu	7,73	20,3	36,8	55,2	79,9	103	Hg	10,44	18,8	34,2	—	—	—
Zn	9,39	18,0	39,7	59,4	82,6	108	Tl	6,11	20,4	29,8	—	—	—
Ga	6,00	20,5	30,7	64,2	—	—	Pb	7,42	15,0	21,6	42,3	68,8	—
Ge	7,90	15,9	34,2	45,7	93,5	—	Bi	7,29	16,7	25,6	45,3	56,0	89,3
As	9,78	18,6	28,3	50,1	62,6	128	Po	8,42	19,4	27,3	—	—	—
Se	9,75	21,2	30,8	42,9	68,3	81,7	At	9,22	20,1	—	—	—	—
Br	11,8	21,8	36,2	47,3	59,7	88,6	Rn	10,7	21,8	29,0	—	—	—
Kr	14,0	24,4	36,9	52,5	64,7	78,5	Fr	3,94	—	—	—	—	—
Rb	4,18	27,3	40,4	52,6	71,0	84,4	Ra	5,28	10,1	—	—	—	—
Sr	5,70	11,0	43,6	57,0	71,6	90,8	Ac	5,08	12,1	19,7	—	—	—
Y	6,38	12,2	20,5	61,8	77,0	93,0	Th	6,11	11,5	20,0	28,8	—	—
Zr	6,84	13,1	23,0	34,3	81,5	—	Pa	5,91	—	—	—	—	—
Nb	6,88	14,3	25,0	38,2	50,5	103	U	6,11	—	—	—	—	—
Mo	7,10	16,1	27,26	46,4	61,2	68,4	Np	6,22	—	—	—	—	—
Tc	7,28	15,3	29,5	—	—	—	Pu	6,06	—	—	—	—	—
Ru	7,37	16,8	28,5	—	—	—	Am	5,99	—	—	—	—	—
Rh	7,46	18,1	31,1	—	—	—	Cm	6,02	—	—	—	—	—
Pd	8,34	19,4	32,9	—	—	—	Bk	6,23	—	—	—	—	—
Ag	7,58	21,5	34,8	—	—	—	Cf	6,30	—	—	—	—	—
Cd	8,99	16,9	37,5	—	—	—	Es	6,42	—	—	—	—	—
In	5,79	18,9	28,0	53,9	—	—	Fm	6,50	—	—	—	—	—
Sn	7,34	14,6	30,5	40,7	72,3	—	Md	6,58	—	—	—	—	—
Sb	8,62	16,5	25,3	44,1	56,0	108	No	6,65	—	—	—	—	—

Крио- и эбулиоскопические константы, °С

Вещество	Формула	Криоскопическая константа	Эбулиоскопическая константа
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 П2.17

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)	120,0
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 П2.18

Энтальпии гидратации ионов (ΔH°) в бесконечно разбавленных растворах (при 25 °С), кДж/моль

Ион	ΔH°	Ион	ΔH°	Ион	ΔH°
H ⁺	-1108,76	Sn ⁴⁺	-7644,0	Mn ²⁺	-1878,6
H ₃ O ⁺	-460,24	Pb ²⁺	-1514,6	Mn ³⁺	-4594,0
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⁺	-1874,0
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⁺	-1996,0
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⁺	-3962,0	Cu ⁺	-581,6
In ³⁺	-4163,0	Ti ²⁺	-1322,0	Cu ²⁺	-2120,7
Tl ⁺	-343,09	Ti ³⁺	-4297,0	Ag ⁺	-489,53
Tl ³⁺	-4117,0	V ²⁺	-1895,0	Au ⁺	-644,3
CO ₃ ²⁻	-1389,09	V ³⁺	-4406,0	Zn ²⁺	-2075,26
CN ⁻	-347,27	Cr ²⁺	-1924,6	Cd ²⁺	-1836,72
Sn ²⁺	-1565,0	Cr ³⁺	-4623,0	Hg ²⁺	-1845,14

Ионные радиусы, Å

Ион	Координационное число						Ион	Координационное число					
	2	4	6	8	10	12		2	4	6	8	10	12
Li ⁺	—	0,73	0,90	1,06	—	—	Mo ³⁺	—	—	0,83	—	—	—
Be ²⁺	—	0,41	0,59	—	—	—	Mo ⁴⁺	—	—	0,79	—	—	—
B ³⁺	—	0,25	—	—	—	—	Tc ⁴⁺	—	—	0,79	—	—	—
C ⁴⁺	—	0,29	—	—	—	—	Ru ³⁺	—	—	0,82	—	—	—
N ³⁻	—	1,32	—	—	—	—	Ru ⁴⁺	—	—	0,76	—	—	—
O ²⁻	1,21	1,24	1,26	1,28	—	—	Rh ³⁺	—	—	0,81	—	—	—
OH ⁻	1,18	1,21	1,23	—	—	—	Rh ⁴⁺	—	—	0,74	—	—	—
F ⁻	1,15	1,17	1,19	—	—	—	Pd ²⁺	—	0,78 (пк)	1,00	—	—	—
Na ⁺	—	1,13	1,16	1,32	—	1,53	Ag ⁺	0,81	1,14	1,29	1,42	—	—
Mg ²⁺	—	0,71	0,86	1,03	—	—	Ag ⁺	(пк)	1,16	—	—	—	—
Al ³⁺	—	0,53	0,68	—	—	—	Cd ²⁺	—	0,92	1,09	1,24	—	1,45
Si ⁴⁺	—	0,40	0,54	—	—	—	In ³⁺	—	0,76	0,94	1,06	—	—
P ³⁺	—	—	0,58	—	—	—	Sn ⁴⁺	—	0,69	0,83	0,95	—	—
S ²⁻	—	—	1,70	—	—	—	Sb ³⁺	—	—	0,90	—	—	—
Cl ⁻	—	—	1,67	—	—	—	Te ²⁻	—	—	2,07	—	—	—
K ⁺	—	1,51	1,52	1,65	1,73	1,78	I ⁻	—	—	2,06	—	—	—
Ca ²⁺	—	—	1,14	1,26	1,37	1,48	Cs ⁺	—	—	1,81	1,88	1,95	2,02
Sc ³⁺	—	—	0,89	1,01	—	—	Ba ²⁺	—	—	1,49	1,56	1,66	1,75
Ti ²⁺	—	—	1,00	—	—	—	La ³⁺	—	—	1,17	1,30	1,41	1,50
Ti ³⁺	—	—	0,81	—	—	—	Ce ³⁺	—	—	1,15	1,28	1,39	1,48
Ti ⁴⁺	—	0,56	0,75	0,88	—	—	Pr ³⁺	—	—	1,13	1,27	—	—
V ²⁺	—	—	0,93	—	—	—	Nd ³⁺	—	—	1,12	1,25	—	1,41
V ³⁺	—	—	0,78	—	—	—	Pm ³⁺	—	—	1,11	1,23	—	—
Cr ²⁺	(вс)	—	0,94	—	—	—	Sm ³⁺	—	—	1,10	1,22	—	1,38
Cr ²⁺	(нс)	—	0,87	—	—	—	Eu ³⁺	—	—	1,09	1,21	—	—
Cr ³⁺	—	—	0,76	—	—	—	Gd ³⁺	—	—	1,08	1,19	—	—
Mn ²⁺	(вс)	0,80	0,97	—	—	—	Tb ³⁺	—	—	1,06	1,18	—	—
Mn ²⁺	(нс)	—	0,81	—	—	—	Dy ³⁺	—	—	1,05	1,17	—	—
Mn ³⁺	(вс)	—	0,79	—	—	—	Ho ³⁺	—	—	1,04	1,16	1,26	—
Mn ³⁺	(нс)	—	0,72	—	—	—	Er ³⁺	—	—	1,03	1,14	—	—

Ион	Координационное число						Ион	Координационное число					
	2	4	6	8	10	12		2	4	6	8	10	12
Fe ²⁺	(вс)	0,77	0,92	—	—	—	Tm ³⁺	—	—	1,02	1,13	—	—
Fe ²⁺	(нс)	—	0,75	—	—	—	Yb ³⁺	—	—	1,01	1,13	—	—
Fe ³⁺	(вс)	0,63	0,79	—	—	—	Lu ³⁺	—	—	1,00	1,12	—	—
Fe ³⁺	(нс)	—	0,69	—	—	—	Hf ⁴⁺	—	0,72	0,85	0,97	—	—
Co ²⁺	(вс)	0,72	0,89	—	—	—	Ta ³⁺	—	—	0,86	—	—	—
Co ²⁺	(нс)	—	0,79	—	—	—	Ta ⁴⁺	—	—	0,82	—	—	—
Co ³⁺	(вс)	—	0,75	—	—	—	W ⁴⁺	—	—	0,80	—	—	—
Co ³⁺	(нс)	—	0,69	—	—	—	Re ⁴⁺	—	—	0,77	—	—	—
Ni ²⁺	—	0,69	0,83	—	—	—	Os ⁴⁺	—	—	0,77	—	—	—
Ni ²⁺	(пк)	0,63	—	—	—	—	Ir ³⁺	—	—	0,82	—	—	—
Ni ³⁺	(вс)	—	0,74	—	—	—	Ir ⁴⁺	—	—	0,77	—	—	—
Ni ³⁺	(нс)	—	0,70	—	—	—	Pt ²⁺	—	0,74 (пк)	0,94	—	—	—
Cu ⁺	0,60	0,74	0,91	—	—	—	Pt ⁴⁺	—	—	0,77	—	—	—
Cu ²⁺	—	0,71 (пк)	0,87	—	—	—	Au ⁺	—	—	1,51	—	—	—
Zn ²⁺	—	0,74	0,88	1,04	—	—	Au ³⁺	—	0,82 пк	0,99	—	—	—
Ga ³⁺	—	0,61	0,76	—	—	—	Hg ²⁺	0,83	1,10	1,16	1,28	—	—
Ge ⁴⁺	—	0,53	0,67	—	—	—	Tl ³⁺	—	0,89	1,03	1,12	—	—
As ³⁺	—	—	0,72	—	—	—	Pb ²⁺	—	1,12	1,33	1,43	1,54	1,65
As ⁵⁺	—	0,48	0,60	—	—	—	Pb ⁴⁺	—	0,79	0,92	1,08	—	—
Se ²⁻	—	—	1,84	—	—	—	Bi ³⁺	—	—	1,17	1,31	—	—
Br ⁻	—	—	1,82	—	—	—	Po ⁴⁺	—	—	1,08	1,22	—	—
Rb ⁺	—	—	1,66	1,75	1,80	1,86	As ⁷⁺	—	—	0,76	—	—	—
Sr ²⁺	—	—	1,32	1,40	1,50	1,58	Fr ⁺	—	—	1,94	—	—	—
Y ³⁺	—	—	1,04	—	—	—	Ra ²⁺	—	—	—	1,62	—	1,85
Zr ⁴⁺	—	0,73	0,86	0,98	—	—	Ac ³⁺	—	—	1,26	—	—	—
Nb ³⁺	—	—	0,86	—	—	—	Th ⁴⁺	—	—	1,08	1,19	1,27	1,35
Nb ⁴⁺	—	—	0,82	0,93	—	—							

Примечание. вс — высокоспиновый, нс — низкоспиновый, пк — плоскоквадратный

Энергия кристаллических решеток, кДж/моль

Ион	F ⁻	Cl ⁻	Br ⁻	I ⁻	O ²⁻	S ²⁻	OH ⁻
Li ⁺	1024	841,8	802,0	748,0	2900	—	854,0
Na ⁺	940	774,0	741,0	694,0	—	—	884,5
K ⁺	830	703,0	677,5	637,5	—	—	790,5
Rb ⁺	774	678,0	654,0	618,0	—	—	766,0
Cs ⁺	732	646,0	625,5	592,0	—	—	720,0
NH ₄ ⁺	816	640,0	615,0	578,0	—	—	—
Ag ⁺	942	892,0	876,0	866,0	2455	—	—
Cu ⁺	—	866,0	829,0	787,0	2720	2580	—
Mg ²⁺	2885	2480,0	2424,0	2530,0	3810	3260	—
Ca ²⁺	2580	2198,0	2128,0	2040,0	3520	3020	—
Sr ²⁺	2430	2110,0	—	1954,0	3320	2875	—
Ba ²⁺	2290	1958,0	1938,0	1840,0	3127	2248	—
Cu ²⁺	—	2762,0	—	—	4130	3725	—
Zn ²⁺	—	2690,0	2650,0	2595,0	4060	3565	—
Cd ²⁺	2770	2502,0	2480,0	2358,0	3820	3358	—

Физические и термодинамические свойства неорганических веществ

Элемент	Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	d , г/см ³	$t_{пл}$, °С	$t_{кип}$, °С	Растворимость в воде*, г/100 г Н ₂ O*		$\Delta_f H^{298}$, кДж/моль	S^{298} , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G^{298}$, кДж/моль
						хол.	гор.			
H	H ₂ (г)	Бесцвет. газ	—	-259,2	-252,8	2,14 ⁰	1,6 ¹⁰⁰	0	130,52	0
	H (г)	—	—	—	—	—	—	217,9	114,60	203,3
	H ⁺ (г)	—	—	—	—	—	—	1536,2	108,80	1517,0
	H ⁺ (р)	Раствор	—	—	—	—	—	0	0	0
Li	Li	Серебр. металл., куб.	0,53	179	1350	Реаг.	Реаг.	0	28,60	0
	Li (г)	—	—	—	—	—	—	160,5	139,60	127,4
	LiH	Белый или серый, куб.	0,76	~680	~850	Реаг.	Реаг.	-90,7	20,00	-68,5
	LiAlH ₄	Белый порист.	0,92	Разлаг. ⁻¹⁵⁰	—	Реаг.	—	-117	87,90	-48,4
	Li ₂ CO ₃	Бесцвет., монокл.	2,11	618	Разлаг.	1,33 ²⁰	0,72 ¹⁰⁰	-1215,6	90,40	-1132,4
	Li ₂ O	Бесцвет., куб.	2,01	1570	2600	Реаг.	Реаг.	-595,8	37,90	-562,1
	LiOH	Белый, тетрагон.	1,43	462	~925	12,4 ²⁵	15,4 ⁸¹	-487,2	42,80	-442,2
	LiNO ₃	Бесцвет. расплыв., тригон.	2,36	254	Разлаг. ⁶⁰⁰	72,8 ²⁰	194 ⁷⁵	-482,3	105,00	-389,5
	Li ₂ SO ₄	Бесцвет.	2,22	860	—	33,7 ²⁰	31 ¹⁰⁰	-1434,4	113,00	-1324,7
	LiF	Бесцвет., куб.	2,29	845	1670	0,27 ¹⁸	0,135 ³⁵	-612,1	35,90	-584,1
	LiCl	Бесцвет. расплыв., куб.	2,07	613	1360	83,2 ²⁰	128,3 ¹⁰⁰	-408,3	59,30	-384,0
	LiBr	Белый расплыв., куб.	3,46	547	1265	155 ¹⁶	254 ⁹⁰	-350,3	66,90	-338,9
	LiI	Бесцвет. расплыв., куб.	4,06	446	1170	162 ²⁵	437 ⁸⁸	-271,1	75,70	-266,9

Na	Na		0,97	97,5	877	Реаг.	Реаг.	0	51,50	0
	Na (r)	Серебр. металл, куб.	—	—	—	—	—	108,3	153,60	77,3
	Na ⁺ (r)	—	—	—	—	—	—	606,1	147,90	575,6
	Na ⁺ (p)	Раствор	—	—	—	—	—	-239,9	58,91	-262,1
	NaN	Светло-серый, куб.	1,40	Разлаг. ⁴²⁵	—	Реаг.	Реаг.	-56,4	188,00	-38,0
	NaNH ₄	Белый, куб.	1,07	Разлаг. ^{>300}	—	Раствор.	—	-183,3	101,30	-119,5
	NaBO ₂	Бесцвет., тригон.	2,34	966	1434	16,4 ⁰	125,2 ¹⁰⁰	-1059,0	73,40	-922,8
	Na ₂ B ₄ O ₇	Бесцвет. крист.	2,37	741	Разлаг. ¹⁵⁷⁵	1,11 ⁰	52,5 ¹⁰⁰	-3276,6	189,50	-3081,6
	NaAlO ₂	Белый аморф.	—	1650	—	Раствор.	Раствор.	-1132,2	70,40	-1066,3
	NaCN	Белый, куб.	1,60	562	1497	81,8 ³⁵	82,5 ⁵⁵	-89,5	118,50	-80,4
	NaCNO	Бесцвет. гексагон. иглы	1,94	—	—	Раствор.	Раствор.	-93,6	124,90	-81,4
	NaSCN	Бесцвет., ромб.	1,73	287	—	166 ²⁵	225 ¹⁰⁰	-410,0	113,00	-362,4
	NaNCO ₃	Белый, монокл.	2,20	-CO ₂ ¹⁶⁰	—	9,6 ²⁰	23,6 ¹⁰⁰	-947,7	102,00	-851,9
	Na ₂ CO ₃	Белые крист.	2,53	852	Разлаг.	Раствор.	Раствор.	-1131,0	136,40	-1047,5
	Na ₂ CO ₃ · ·10H ₂ O	Бесцвет., монокл.	1,45	32,5	—	6,95 ⁰	39,4 ³⁰	-4083,6	564,70	-3424,3
	Na ₂ SiO ₃	Бесцвет., монокл.	2,4	1089	—	Раствор.	92,3 ⁹⁰	-1525,4	* 113,80	-1427,7
	NaN ₃	Белый, тригон.	1,85	Разлаг. ²⁷⁵	—	39 ⁰	55 ¹⁰⁰	21,3	70,50	99,9
	NaNO ₂	Белый, ромб.	2,17	271	Разлаг.	82,9 ²⁰	160 ¹⁰⁰	-359,0	106,00	-295,0
	NaNO ₃	Бесцвет. ромб., тригон.	2,26	306,8	—	88 ²⁰	176 ¹⁰⁰	-466,7	116,00	-365,9
	Na ₃ PO ₄	Белый крист.	2,54	1340	—	14,6 ²⁵	94,5 ¹⁰⁰	-1935,5	224,70	-1819
	Na ₂ O	Белый расплыв.	2,27	Возг. ¹²⁷⁵	—	Реаг.	Реаг.	-416,0	75,30	-377,1

Элемент	Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	d, г/см ³	t _{пл} , °С	t _{крит} , °С	Растворимость в воде*, г/100 г Н ₂ O*		ΔH ^р ₂₉₈ , кДж/моль	S ^р ₂₉₈ , Дж/(К·моль)	Δ _f G ^р ₂₉₈ , кДж/моль
						хол.	гор.			
Na	Na ₂ O ₂	Желтовато-коричневый	2,5	Разлаг. ⁴⁶⁰	—	Реаг.	Реаг.	-510,4	94,88	-446,9
	NaOH	Белый распылв.	2,13	320	1378	107 ²⁰	337 ¹⁰⁰	-456,6	64,40	-380,7
	Na ₂ S	Розово-белый аморф., куб.	1,86	920	—	18,6 ²⁰	57,2 ⁹⁰	-370,3	77,40	-354,8
	Na ₂ SO ₃	Бесцвет., гексагон.	2,63	Разлаг.	—	30,7 ²⁵	26,6 ¹⁰⁰	-1090,0	146,00	-1002,0
	Na ₂ SO ₄	Бесцвет., ромб.	2,70	884	—	52,9 ²⁰	42,5 ¹⁰⁰	-1384,6	149,50	-1266,8
	Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	Бесцвет., монокл.	1,46	Разлаг. ^{32,4}	—	19,2 ²⁰	—	-4324,2	591,90	-3642,9
	NaNF ₂	Бесцвет., тригон.	—	Разлаг. ²⁷⁰	—	3,25 ²⁰	7,5 ⁹⁰	-902,8	90,70	-806,74
	NaF	Бесцвет., куб.	2,56	997	1705	4,28 ²⁰	4,96 ⁹⁴	-573,6	51,30	-543,3
	NaCl	Бесцвет., куб.	2,16	800,8	1413	35,7 ¹⁰	39,2 ¹⁰⁰	-411,1	72,10	-384,0
	NaClO ₃	Белый, куб.	2,41	255	Разлаг.	100,5 ²⁵	204 ¹⁰⁰	-365,4	129,70	-275,0
	NaClO ₄	Белый распылв.	—	Разлаг. ⁴⁸²	—	169 ⁰	330 ¹⁰⁰	-382,8	140,00	-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	130,50	-252,6
	NaI	Бесцвет., куб.	3,66	651	1300	179,3 ²⁰	302 ¹⁰⁰	-287,9	98,50	-284,6
	Na ₂ CrO ₄	Желтый, ромб.	2,72	—	—	31,7 ⁰	126 ¹⁰⁰	-1333	174,50	-1232
K	K	Серебр. металл, куб.	0,86	63,9	765	Реаг.	Реаг.	0,00	71,50	0
	K (r)	—	—	—	—	—	—	89,16	160,20	60,7
	K ⁺ (p)	Раствор.	—	—	—	—	—	-251,2	102,50	-281,3

К	КН	Белый, куб.	1,43	Разлаг.	—	Реаг.	Реаг.	50,20	-34,0
	KNH_4	Крист.	—	—	—	—	—	106,20	-159,4
	$K_2V_4O_7$	Крист.	—	—	—	Раствор	21,3 ³⁵	187,40	-2998,8
	KBF_4	Крист.	—	—	—	—	—	50,20	-1778,2
	$KAlH_4$	Крист.	—	—	—	—	—	128,80	-99,5
	КСН	Белый расплыв., куб.	1,52	634	—	71,6 ²⁵	122 ¹⁰⁰	137,00	-103,9
	$KHCO_3$	Бесцвет., монокл.	2,17	Разлаг. ^{>100}	—	33,5 ²⁰	76 ⁷⁰	128,70	-860,6
	K_2CO_3	Бесцвет., монокл.	2,43	891	Разлаг.	111 ²⁰	155 ¹⁰⁰	156,30	-1059,8
	KN_3	Бесцвет.	2,04	350	—	46,5 ^{10,5}	105,8 ¹⁰⁰	86,00	77,0
	KNO_2	Бесцвет. расплыв., монокл.	1,92	387	—	280 ⁰	413 ¹⁰⁰	117,00	-218,6
	KNO_3	Бесцвет. ромб. или тригон.	2,11	334	—	31,6 ²⁰	245 ¹⁰⁰	132,93	-393,1
	K_2O	Бесцвет., куб.	2,32	—	—	Реаг.	Реаг.	94,10	-322,1
	K_2O_2	Белый порошок	—	490	—	—	—	113,00	-429,8
	KO_2	Желтые листочки	2,14	~400	Разлаг.	Реаг.	Реаг.	46,90	-209,0
	КОН	Белый расплыв.	2,04	410	1320	95,3 ⁰	178 ¹⁰⁰	79,30	-380,2
	K_2S	Расплыв., куб.	1,80	471	—	Раствор.	В раствор.	111,30	-404,2
	$K_2SO_3 \cdot 2H_2O$	Желтовато-белый, монокл.	2,35	Разлаг. ¹⁰⁰	—	Раствор.	Раствор.	156,50	-102,5
	K_2SO_4	Бесцвет. ромб. или гексагон.	2,66	1069	>2000	7,4 ⁰	24,1 ¹⁰⁰	*175,70	-1316,4
	KHF_2	Бесцвет., тетрагон.	2,35	238,7	Разлаг. ^{>400}	24,5 ⁰	114 ⁸⁰	104,60	-860,5
	KF	Бесцвет. расплыв., куб.	2,48	857	1500	96 ²⁵	150 ¹⁰⁰	66,60	-537,7
	KCl	Бесцвет., куб.	1,98	768	1406	34,2 ²⁰	56,2 ¹⁰⁰	82,60	-408,0
	$KClO_3$	Бесцвет., монокл.	2,32	356	Разлаг. ^{>400}	7,3 ²⁰	56 ¹⁰⁰	143,00	-289,9
	$KClO_4$	Бесцвет., ромб. или куб.	2,52	610	—	0,76 ⁰	22,2 ¹⁰⁰	151,00	-300,4

Элемент	Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	d , г/см ³	$t_{пл}^*$, °C	$t_{квп}^*$, °C	Растворимость в воде*, г/100 г H ₂ O*		$\Delta H_{f,298}^{\circ}$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta G_{f,298}^{\circ}$, кДж/моль	
						хол.	гор.				
К	KBr	Бесцвет., куб.	2,75	730	1380	52,8 ⁰	104,8 ¹⁰⁰	-392,5	95,90	-378,8	
	KBrO ₃	Бесцвет., тригон.	3,27	Разлаг. ³⁷⁰	—	3,1 ⁰	49,75 ¹⁰⁰	-332,2	149,20	-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	—	Разлаг. ³⁰⁰	0,17 ⁰	7,87 ¹⁰⁰	-464,9	157,70	-391,2	
	K ₂ CrO ₄	Желтый, ромб.	2,73	968,3	—	62,9 ²⁰	79,2 ¹⁰⁰	-1382,8	193,00	-1286,0	
	K ₂ Cr ₂ O ₇	Оранжево-красные, крист.	2,68	398	Разлаг. ⁵⁰⁰	4,7 ⁰	102 ¹⁰⁰	-2033,0	291,20	-1866,0	
	K ₂ MnO ₄	Зеленые, ромб.	—	Разлаг. ¹⁹⁰	—	Реаг.	Реаг.	-1184,1	—	—	
	KMnO ₄	Пурпурные, ромб.	2,70	Разлаг. ²⁴⁰	—	6,36 ²⁰	32 ⁷⁵	-813,4	171,70	-713,8	
	KReO ₄	Белый, тетрагон.	4,89	550	1375	1,2 ²⁵	14 ¹⁰⁰	-1100,3	167,70	995,7	
	Rb	Rb	Серебр. металл, куб.	1,53	38,8	705	Реаг.	Реаг.	0,0	76,20	0,0
		Rb (r)	—	—	—	—	—	—	81,9	169,90	54,0
RbH		Белый, куб.	2,0	Разлаг. ²⁰⁰	—	Реаг.	Реаг.	-54,31	—	-33,9	
Rb ₂ CO ₃		Бесцвет. расплав.	—	Разлаг. ⁴⁷⁰	—	223 ²⁰	В. раствор.	-1128,0	—	-1046,0	
RbNO ₃		Бесцвет. тригон., куб.	3,11	310—316	—	53,5 ²⁰	452 ¹⁰⁰	-489,7	140,60	-390,4	
Rb ₂ O		Желтоватый, куб.	3,72	—	—	Реаг.	Реаг.	-330,1	108,80	-292,9	
RbOH		Белый расплав.	3,20	301	—	180 ¹⁵	В. раствор.	-413,8	79,50	-364,0	
RbF		Бесцвет., куб.	—	760	1410	300 ¹⁸	—	-549,3	75,30	-523,4	
RbCl		Бесцвет., куб.	2,76	715	1380	91,2 ²⁰	138,9 ¹⁰⁰	-430,6	91,60	-405,8	

Cs	RbBr	Бесцвет., куб.	3,35	682	1340	89°	191 ¹⁰⁰	-389,2	112,3	-378,1
	RbI	Бесцвет., куб.	3,55	6389	1300	124,7°	281 ¹⁰⁰	-328,4	118,0	-325,5
	Cs	Серебр. металл, куб.	1,87	28,5	688	Реаг.	Реаг.	0,0	84,4	0,0
	Cs (r)	—	—	—	—	—	—	78,1	175,5	50,9
	Cs ⁺ (p)	Раствор	—	—	—	—	—	-247,7	133,1	-282,0
	CsH	Белый, куб.	2,70	Разлаг.	—	Реаг.	Реаг.	-49,9	79,0	-29,3
	Cs ₂ CO ₃	Бесцвет. расплав.	—	Разлаг. ⁶¹⁰	—	260,5 ¹⁵	В.	—	188,7	-1039,0
	CsNO ₃	Бесцвет., гексагон. куб.	3,68	414,0	Разлаг.	9,16°	раствор.	-494,2	149,0	-395,0
	Cs ₂ O	Оранжево-красный, гексагон.	4,36	Разлаг.	—	Реаг.	Реаг.	-317,6	123,8	-274,5
	Cs ₂ O ₂	Желтые иглы	4,25	400,0	Разлаг. ⁶⁵⁰	Реаг.	Реаг.	-402,5	118,0	-327,2
	CsO ₂	Желтый, тетрагон.	3,77	600,0	Разлаг.	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. красный	—	—	—	В.	В.	-364,0	146,0	-326,0
	Cs ₂ SO ₄	Бесцвет., ромб.	4,24	1010,0	—	раствор.	раствор.	-1642,6	205,9	-1300,0
	CsF	Бесцвет., куб.	3,59	682,0	1250	167°	220 ¹⁰⁰	-530,9	79,0	-505,4
CsCl	Бесцвет., куб.	3,97	638,0	1300	раствор.	270,5 ¹⁰⁰	-433,0	90,0	-404,2	
CsBr	Бесцвет., куб.	4,44	627,0	1300	186,5 ²⁰	—	-394,6	121,0	-383,3	
CsI	Бесцвет., куб.	4,51	621,0	1280	123,3 ²⁵	151 ⁶⁰	-351,3	130,0	-333,5	
Be	Be	Светло-серый металл, гексагон.	1,85	1280	2471	He	He	0,0	9,5	0,0
	Be (r)	—	—	—	раствор.	раствор.	326,5	136,2	288,8	
	Be ²⁺ (p)	Раствор	—	—	—	—	—	—	-196,6	-381,2
	BeH ₂	Белый порошок	—	Разлаг.	—	Реаг.	Реаг.	125,0	173,0	115,3
	Be ₂ C	Желтый, куб.	1,90	>2100	—	Реаг.	Реаг.	-90,8	16,3	-88,3

Элемент	Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	d , г/см ³	$t_{пл}^*$, °C	$t_{кип}^*$, °C	Растворимость в воде*, г/100 г Н ₂ O*		$\Delta_f H_{298}^*$, кДж/моль	S_{298}^* , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^*$, кДж/моль	
						хол.	гор.				
Be	BeCO ₃	Белые крист.	—	—	—	0,18 ⁰	—	-982,0	67,3	-944,7	
	BeO	Бесцвет., гексагон.	3,01	2550	-3900	He раствор.	He раствор.	-598,0	14,1	-582,0	
	Be(OH) ₂	Белый аморф. или крист.	1,91	Разлаг. ¹³⁸	—	Сл. раствор	Сл. раствор	-907,0	55,6	-818,0	
	BeSO ₄	Бесцвет. крист.	2,44	Разлаг. ⁵⁵⁰	—	35,3 ⁰	85,9 ¹⁰⁰	-1197,0	90,0	-1088,0	
	BeF ₂	Бесцвет., тетрагон, гексагон.	2,01	803	1159	В. раствор.	В. раствор.	-1010,0	45,0	-941,0	
	BeCl ₂	Бесцвет. расплыв. иглы	1,90	404	500	68,5 ⁰	Раствор.	-494,0	63,0	-468,0	
	BeI ₂	Бесцвет. иглы	4,32	480	590	Реаг.	Реаг.	-165,0	130,0	-210,0	
	Mg	Mg	Серебр. металл, гексагон.	1,74	651	1103	He раствор.	He раствор.	0,0	32,7	0,0
		Mg (г)	—	—	—	—	—	—	146,4	148,5	111,9
		Mg ²⁺ (р)	Раствор	—	—	—	—	—	-467,0	138,0	-455,1
MgCO ₃		Белый, тригон.	3,04	Разлаг. ³⁵⁰	—	В. сл. раствор	—	-1113,0	65,7	-1029,3	
Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O		Бесцвет., монокл.	1,46	89,9	—	232 ¹⁵	В. раствор.	-2499,6	366,0	-2115,6	
MgO		Белый, куб.	3,58	2640	3600	—	—	-601,8	26,9	-569,6	
Mg(OH) ₂		Бесцвет., тригон.	2,35	Разлаг.	—	—	0,004 ¹⁰⁰	-924,7	63,14	-833,7	
MgSO ₄		Бесцвет., ромб.	2,66	Разлаг. ¹¹²⁷	—	33,7 ²⁰	50 ¹⁰⁰	-1301,4	91,6	-1158,7	
MgSO ₄ ·7H ₂ O		Бесцвет., ромб. или монокл.	1,64	-6H ₂ O ¹⁵⁰	-7H ₂ O ²⁰⁰	107 ²⁰	215 ¹⁰⁰	-3384,0	—	-2868,0	
MgF ₂		Бесцвет., тетрагон.	2,9	1263	2239	He раствор.	He раствор.	-1113,0	57,2	-1071,0	

Mg	MgCl ₂	Бесцвет., гексагон.	2,32	708	1412	54,6 ²⁰	73,4 ¹⁰⁰	-641,1	89,8	-591,6
	MgBr ₂	Бесцвет. распыльв., тригон.	3,72	~700	—	101 ²⁰	125,4 ¹⁰⁰	-517,6	117,0	—
	MgBr ₂ ·6H ₂ O	Бесцвет., гексагон. или монокл.	—	Разлаг. ¹⁶⁵	—	390 ²⁰	В. раствор	-2407,0	397,0	-2054,0
Ca	Ca	Серебр. металл	1,55	850	1439	Реаг.	Реаг.	0,0	41,6	0,0
	Ca(r)	—	—	—	—	—	—	177,3	154,8	143,6
	Ca ²⁺ (р)	Раствор	—	—	—	—	—	-543,0	-55,2	-553,0
	CaH ₂	Бесцвет., ромб.	1,7	816 (в H ₂)	Разлаг.	Реаг.	Реаг.	-188,7	42,0	-149,8
	Ca(BO ₂) ₂	Бесцвет., ромб.	—	1154	—	Сл. раствор	—	-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 ^{106атм}	Разлаг.	He раствор.	He раствор.	-1206,9	92,9	-1128,8
	CaSiO ₃	Бесцвет., монокл.	2,90	1540	—	He раствор.	—	-1636,0	82,0	-1550,8
	Ca ₃ N ₂	Коричневый порошок	2,63	900	—	Реаг.	Реаг.	-431,8	105,0	-368,6
	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ ·H ₂ O	Бесцвет. распыльв.	2,22	-H ₂ O ¹⁰⁹	Разлаг. ²⁰³	1,8 ³⁰	Реаг.	Реаг.	—	—
CaHPO ₄	Бесцвет.	—	—	—	0,02 ²⁵	Реаг.	Реаг.	-1815,6	111,5	-1682,4
CaHPO ₄ ·2H ₂ O	Бесцвет., монокл.	2,31	—	Разлаг.	Сл. раствор	Реаг.	Реаг.	-2405,2	189,6	-2156,2
Ca ₃ (PO ₄) ₂	Белый, тригон.	3,14	1670	—	He раствор.	—	-4123,6	236,0	-3887,6	
CaO	Бесцвет., куб.	3,37	2580	2850	Реаг.	Реаг.	-635,5	39,7	-604,2	

Элемент	Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	d, г/см ³	t _{пл.} *, °C	t _{крит.} *, °C	Растворимость в воде*, г/100 г H ₂ O*		ΔH ²⁹⁸ , кДж/моль	S ²⁹⁸ , Дж/(К·моль)	ΔG ²⁹⁸ , кДж/моль
						хол.	гор.			
Са	СаО ₂	Белый, тетрагон.	—	Разлаг. ²⁷⁵	—	Сл.	—	-651,7	43,1	-598,0
	Са(ОН) ₂	Бесцвет., гексагон.	2,24	-Н ₂ О ⁵⁸⁰	Разлаг.	раствор	0,077 ¹⁰⁰	-986,6	76,1	-896,8
	СаS	Бесцвет., куб.	2,18	>2000	Разлаг.	Реаг.	Реаг.	-482,7	56,5	-477,7
	СаSO ₄ ·0,5Н ₂ О	Бесцвет., монокл. или тригон.	2,67	-1/2Н ₂ О ¹⁶³	—	Сл.	раствор	-1577,8	130,6	-1437,8
	СаSO ₄ ·2Н ₂ О	Бесцвет., монокл.	2,31	-1,5Н ₂ О ¹²⁸	-2Н ₂ О ¹⁶³	Сл.	раствор	-2024,0	194,3	-1798,7
	СаF ₂	Бесцвет., куб.	3,18	1360	2500	раствор	Не	-1214,6	68,9	-1161,9
	СаCl ₂	Бесцвет. расплыв.	2,51	772	>1600	раствор.	раствор.	-795,0	113,6	-750,2
	СаCl ₂ ·6Н ₂ О	Бесцвет. расплыв., тригон.	1,68	29,92	-4Н ₂ О ³⁰ , -6Н ₂ О ²⁰⁰	74,5 ²⁰	159 ¹⁰⁰	-2599,6	285,1	-2198,9
	СаBr ₂	Бесцвет. расплыв. илы	3,35	760	806	142 ²⁰	312 ¹⁰⁵	-674,9	130,0	-656,1
	СаBr ₂ ·6Н ₂ О	Бесцвет., тригон.	—	38,2	—	952 ²⁰	В.	-2507,8	304,7	-2118,9
	СаI ₂	Желтого-белый пластич.	3,96	575	716	209 ²⁰	раствор.	-534,7	142,0	-529,0
	СаTiO ₃	Бесцвет., ромб.	4,10	—	—	Не	Не	-1654,8	—	-1569,4
	Са(CrO ₂) ₂	Крист.	—	—	—	раствор.	раствор.	-2068,6	120,9	-1936,4
	СаCrO ₄	Крист.	—	—	—	Раствор	Не	-1380,0	133,9	-1308,8
	СаMoO ₄	Бесцвет., тетрагон.	4,38	—	—	раствор.	раствор.	—	—	-1446,4
СаWO ₄	Бесцвет., тетрагон.	6,06	—	—	Не	раствор.	-1683,6	151,0	-1533,9	

Элемент	Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	d , г/см ³	$t_{пл}^*$, °C	$t_{кип}^*$, °C	Растворимость в воде*, г/100 г H ₂ O*		ΔH_f^{298} , кДж/моль	S_{298}^* , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^*$, кДж/моль
						хол.	гор.			
Ba	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	-1/2 O ₂ ⁸⁰⁰	В сл. раствор.	Реаг.	-629,7	65,7	-587,9
	Ba(OH) ₂	Бесцвет., монокл.	4,50	408	Разлаг.	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.	4,50	1350	—	Не раствор.	Не раствор.	-1465,0	132,0	-1353,0
	Ba ₃ (PO ₄) ₂	Белый, тригон.	4,10	-1727	—	Не раствор.	Не раствор.	-3960,2	355,6	-3951,4
	BaF ₂	Бесцвет., куб.	4,66	1353	2220	раствор.	Сл. раствор	-1200,0	96,2	-1149,0
	BaCl ₂	Бесцвет., ромб. или куб.	3,92	960	1830	31,2 ⁰	57,1 ¹⁰⁰	-859,1	126,0	-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.	—	—	—	—	—	—	234,3	-556,9
	Ba(ClO ₄) ₂	Крист.	—	Разлаг. ⁴⁰⁰	—	В. раствор.	В. раствор.	-859,0	255,2	535,6
	BaBr ₂	Бесцвет., ромб.	4,78	847	—	90 ⁰	149 ¹⁰⁰	-756,5	150,0	-732,0
	BaI ₂	Бесцвет., ромб.	4,92	740	—	166,7 ⁰	246,7 ⁷⁰	-605,4	167,0	-619,0
	BaTiO ₃	Крист.	—	—	—	Не раствор.	Не раствор.	-1663,6	108,0	-1574,9
BaCrO ₄	Желтый, ромб.	4,50	—	—	Не раствор.	Не раствор.	-1368	155,6	-1325,2	

В	В	Желтово-коричневый, тетрагон. или ромб.	2,34	2075	3860	He раствор.	He раствор.	0,0	5,8	0,0
	В (г)	—	—	—	—	—	—	544,0	163,3	517,6
	$\text{В}(\text{OH})_4^-$	Раствор	—	—	—	—	—	-1345,0	101,1	-1153,7
	BF_4^- (р)	Раствор	—	—	—	—	—	-1572,6	176,4	-1483,0
	$\text{В}_2\text{H}_6$ (г)	Бесцвет. газ	—	-166	-92,5	Реаг.	Реаг.	38,5	232,0	89,6
	BN	Белый, гексагон.	2,20	~300 ^(даль.)	—	He раствор.	Сл. реаг.	-252,8	14,8	-226,8
	$\text{В}_2\text{O}_3$ (ам)	Стекловидный	1,80	577	—	Сл. раствор.	Раствор.	-1254,0	80,8	-1193,7
	H_3BO_3	Бесцвет., гексагон., трикл.	1,43	Разлаг. ¹⁸⁵	—	2,7 ⁰	39 ¹⁰⁰	-1094,0	88,7	-968,8
	B_2S_3	Белый или стеклов.	1,55	310	—	Реаг.	Реаг.	-252,0	106,3	-238,1
	BF_3 (г)	Бесцвет. газ	—	-128	-101	106 ⁰ мл	Реаг.	-1137,0	254,37	-1120,0
	BCl_3 (ж)	Бесцвет. ж.	1,43	-107	12,4	Реаг.	—	-427,2	205,0	-387,2
	BBr_3 (ж)	Бесцвет. ж.	2,65	-46	90,9	Реаг.	Реаг.	—	228,5	-237,5
Al	Al	Серебр. металл, куб.	2,70	660,1	2348	He раствор.	He раствор.	0,0	28,4	0,0
	Al (г)	—	—	—	—	—	—	326,3	164,4	288,7
	Al^{3+} (р)	Раствор	—	—	—	—	—	-530,0	-301,0	-490,5
	$\text{Al}(\text{OH})_4^-$ (р)	Раствор	—	—	—	—	—	-1507,5	89,7	-1307,5
	AlF_6^{3-} (р)	Раствор	—	—	—	—	—	-2519,2	24,0	-2276,4
	NaAlH_4	Крист.	—	—	—	—	—	-114,5	123,9	-48,53
	Al_4C_3	Желтый	2,36	Разлаг. ²²⁰⁰	—	Реаг.	Реаг.	-209,0	89,0	-196,0

Элемент	Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	$d, \text{ г/см}^3$	$t_{пл}^*, \text{ }^\circ\text{C}$	$t_{кип}^*, \text{ }^\circ\text{C}$	Растворимость в воде*, г/100 г H ₂ O*		ΔH_f^{298} , кДж/моль	S^{298} , Дж/(К·моль)	ΔG_f^{298} , кДж/моль
						хол.	гор.			
Al	AlN	Бесцвет., гексагон.	3,05	2200 ^{4штм}	Возг. ²⁰⁰⁰	Реаг.	Реаг.	-318,0	20,2	-287,4
	Al ₂ O ₃	Бесцвет., гексагон. или куб.	3,50	2010	-2700	He	He	-1676,0	50,9	-1582,0
	Al(OH) ₃	Белый, монокл.	2,42	-H ₂ O ¹⁸⁰	—	He	раствор.	-1315,0	70,1	-1157,0
	Al ₂ S ₃	Желтый гексагон.	2,02	1100	Исп. ¹⁵⁰⁰	He	раствор.	-723,4	96,0	-492,5
	Al ₂ (SO ₄) ₃	Белый порошок	2,71	Разлаг. ⁷⁷⁰	—	Реаг.	Реаг.	-3442,2	239,2	-3101,0
	(NH ₄) ₂ Al(SO ₄) ₂ ·12H ₂ O	Бесцвет., куб.	1,64	93,5	-10H ₂ O ¹²⁰ -12H ₂ O ²⁰⁰	31,2 ⁰	Раствор.	-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.	—	—	238,5	-3140,7
	AlCl ₃	Белый	2,44	Возг. ^{179,7}	—	раствор	раствор.	-704,2	109,3	-628,6
	AlCl ₃ ·6H ₂ O	Бесцвет. расплыв., монокл.	2,40	—	Разлаг.	44,9 ⁰	В.	-2693,4	318,2	-2262,8
	NaAlCl ₄	Бесцвет. расплыв. порошок	—	185	—	Раствор.	раствор.	-1142,8	188,3	-1041,8
	AlBr ₃	Бесцвет. расплыв.	3,01	97	255	Раствор.	Раствор.	-513,4	180,2	-490,6
	AlI ₃	Светло-коричн. расплыв.	3,98	180	360	Раствор.	Раствор.	-308,0	189,5	-304,0
	Ga	Ga	Серебр. металл, ромб.	5,90	29,7	2230	He	He	0,0	41,1
Ga (r)		—	—	—	раствор.	раствор.	271,7	—	233,2	
Ga ³⁺ (p)		Раствор	—	—	—	—	—	-215,8	-327,6	-161,78

Ga	Ga_2O_3	Белый	6,48	1740	—	—	He раствор.	-1089,0	—	-998,2
	$Ga(OH)_3$	Белый студ.	—	Разлаг. ^{>420}	—	—	He раствор.	-1014,6	84,5	-831,8
	Ga_2S_3	Желтый, куб. или гексагон.	3,65	1255	—	—	Реаг.	-569,0	—	—
	GaF_3	Белый порошок	4,47	>1000	—	—	0,002	—	83,7	-941,4
	$GaCl_3$	Белый расплыв. иглы	2,47	77,9	201,2	—	В. раствор.	-524,7	133,4	-492,8
In	In	Серебр.-белый металл	7,30	156,2	2000	—	He раствор.	0,0	57,8	0,0
	In (r)	—	—	—	—	—	—	—	173,7	203,5
	In^{3+} (p)	Раствор	—	—	—	—	—	-182,4	-253,7	-98,4
	In_2O_3	Желтый, аморф. или куб.	7,18	Разлаг. ^{>850}	—	—	He раствор.	-925,9	107,9	-831,9
	$In(OH)_3$	Белый, куб.	—	$-H_2O$ ^{<150}	—	—	—	-760,0	106,7	-761,6
	$In_2(SO_4)_3$	Светло-серый распыв., монокл.	—	Разлаг. ^{>600}	—	—	В. раствор.	-2725,5	302,1	-2385,7
	InCl	Желтый распыв. крист.	4,19	225	550	—	Реаг.	-186,2	95,0	-164,0
	$InCl_3$	Белый распыв. крист.	3,45	285(ламп)	Возг.	—	166 ²	-537,2	138,0	-460,0
Tl	Tl	Серебр.-белый металл	11,80	303,5	1472	—	He раствор.	0,0	64,2	0,0
	Tl_2O	Черные (желтые) крист.	—	300	Разлаг. ¹⁸⁶⁵	—	В. раствор.	-67,4	161,1	-153,1
	Tl_2O_3	Черный, аморф. или гексагон.	10,20	717	Tl_2O ⁸⁷⁵	—	He раствор.	-390,4	148,1	-321,4
	$TlOH$	Светло-желтые иглы	—	Разлаг. ¹³⁹	—	—	25,4 ⁰ 148 ¹⁰⁰	-233,5	255,2	-190,6

Элемент	Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	d , г/см ³	$t_{пл}^*$, °С	$t_{крит}^*$, °С	Растворимость в воде*, 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
						хол.	гор.			
Тl	Tl(OH) ₃	Коричневый, гексагон.	—	—	—	Не раствор.	Не раствор.	-516,6	102,1	—
	TlF	Бесцвет., ромб.	8,40	327	655	78,6 ¹⁵	В. раствор.	-327,0	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. пластинч.	—	25	Разлаг.	В. раствор.	—	-311,3	—	-290,8
	TlBr	Желт. (белый), куб.	7,56	460	815	0,05 ²⁵	0,25 ⁶⁸	-172,7	122,6	-167,4
С	С (графит)	Серый, гексагон.	2,25	Возг. ³⁶⁰⁰	-4200	Не раствор.	Не раствор.	0,0	5,7	0,0
	С (г)	—	—	—	—	—	—	712,5	158,0	659,7
	CN ⁻ (р)	Раствор	—	—	—	—	—	151,2	96,4	171,6
	HCO ₃ ⁻ (р)	Раствор	—	—	—	—	—	-691,1	95,0	-587,1
	CO ₃ ²⁻ (р)	Раствор	—	—	—	—	—	-676,3	-54,9	-528,1
	С (алмаз)	Бесцвет., куб.	3,51	>3500	4200	4200	Не раствор.	1,828	2,36	2,883
	CH ₄ (г)	Бесцвет. газ	—	-182,49	-161,58	-161,58	9 мл	-74,9	188,2	-50,8
	HCN (ж)	Бесцвет. ж. (или газ)	0,70	-13,3	25,6	25,6	∞	-109,6	113,2	125,6
	CO (г)	Бесцвет. газ	—	-207	-192	-192	3,5 ⁰ мл	-110,5	197,6	-137,1
	COF ₂ (г)	Бесцвет. газ	—	-114	-83	-83	Разлаг.	-634,7	258,5	-619,2
	SOCl ₂ (г)	Бесцвет. ядов. газ	—	-118	8,2	8,2	Разлаг.	-220,3	283,9	-266,9
	CO ₂ (г)	Бесцвет. газ	—	-56,6 ^{5,2 ат}	Возг. ^{-78,5}	Возг. ^{-78,5}	88 ²⁰	-393,5	213,7	-394,4

C	CS ₂ (ж)	Бесцвет. ж.	1,26	-112	46,25	0,79 ²⁰	0,014 ⁵⁰	88,7	151,0	64,4
	CS ₂ (г)	Бесцвет. газ	1,26	-126	-191	т.р.	—	116,1	237,8	65,9
	CF ₄ (г)	Бесцвет. газ	—	—	76,8	0,08 ²⁵	—	-933,7	216,6	-888,0
	CCl ₄ (ж)	Бесцвет. ж.	1,59	—	—	—	—	-135,7	214,6	-64,7
	CCl ₄ (г)	Бесцвет. газ	—	—	—	—	—	-102,9	309,7	-60,6
	CBrl ₄ (г)	—	—	—	—	—	—	79,5	230,1	66,9
	Si	Серый или черный куб.	2,42	1420	-2600	He раствор.	He раствор.	0,0	18,8	0,0
	Si (г)	—	—	—	—	—	—	468,6	167,9	407,6
	SiF ₆ ²⁻ (р)	Раствор	—	—	—	—	—	-2399,0	126,9	-2210,9
	SiH ₄ (г)	Бесцвет. газ	—	-185	-112	Реаг.	Реаг.	34,7	204,6	57,2
Si ₂ H ₆ (г)	Бесцвет. газ	—	-132,5	-14,5	Реаг.	Реаг.	79,9	274,5	126,9	
SiC	Сине-черные крист.	3,22	> 2700	—	He раствор.	He раствор.	-66,8	16,6	-60,4	
SiO ₂ (кварц)	Бесцвет. гексагон.	2,65	~1500	2230	He раствор.	He раствор.	-908,3	42,7	-854,2	
H ₂ SiO ₃	Белый аморф.	2,1	—	—	He раствор.	He раствор.	-1189,1	—	-1019,1	
SiS ₂	Белый (серый), ромб.	—	—	—	Реаг.	Реаг.	-156,1	90,5	-158,6	
SiF ₄ (г)	Бесцвет. газ	—	-77 ^{24м}	-65 ¹⁸¹⁰	Реаг.	Реаг.	-1614,9	282,6	-1572,5	
SiCl ₄ (ж)	Бесцвет. ж.	1,48	-70	57,6	Реаг.	Реаг.	-687,8	239,7	-598,3	
Ge	Ge	Светло-серый металл, куб.	5,32	936	2700	He раствор.	He раствор.	0,0	31,3	0,0
	Ge (г)	—	—	—	—	—	—	376,5	167,7	335,8
	GeH ₄ (г)	Бесцвет. газ	—	-165	-89,5	—	—	90,8	217,1	113,2
	GeO	Серо-черный	—	Возг. ⁷⁰⁰	—	Сл. раствор	—	-255,0	50,2	-226,8

Элемент	Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	d , г/см ³	$t_{пл}$, °С	$t_{кип}$, °С	Растворимость в воде*, 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
						хол.	гор.			
Ge	GeO ₂	Белый, тригон.	4,70	1116	—	0,43 ²⁰	1,0 ¹⁰⁰	-554,7	55,3	-500,8
	GeS	Желтоваго-аморф., ромб.	3,31	530	827	0,24	раствор	-70,1	66,0	-71,0
	GeS ₂	Белый, ромб.	2,94	800	1530	0,45	Сл. раствор.	-38,4	78,3	-39,9
	GeF ₄ (г)	Бесцвет. газ	—	—	Возг. ⁻³⁶	—	Реаг.	-1190,0	303,0	-1150,0
	GeCl ₄ (ж)	Бесцвет. ж.	1,87	-49,6	83,1	Реаг.	Реаг.	-569,0	251,0	-497,0
	GeCl ₄ (г)	Бесцвет. газ	—	—	—	—	Реаг.	-504,6	347,7	-466,0
Sn	β -Sn (бел.)	Белый металл, ромб.	6,52	231,91	2600	He	He	0,0	51,6	0,0
	α -Sn (сер.)	Серый металл, куб.	5,75	Фаз. переход в β^{13}	—	раствор.	раствор.	-2,6	44,2	-0,13
	Sn (г)	—	—	—	—	—	—	302,1	168,4	267,3
	Sn ²⁺ (р)	Раствор	—	—	—	—	—	-10,5	-22,7	-27,3
	Sn ⁴⁺ (р)	Раствор	—	—	—	—	—	-2,43	-226,1	-2,4
	SnH ₄ (г)	Бесцвет. газ	—	-150	-52,6	—	—	162,3	228,7	187,8
	SnO	Черный, тетрагон.	6,44	Разлаг. ^{>700}	—	He	He	-286,0	56,5	-256,9
	SnO ₂	Белый, тетрагон.	6,95	Разлаг. ¹¹²⁷	—	раствор.	раствор.	-580,8	52,3	-519,9
	Sn(OH) ₂	Крист.	—	—	—	He	He	-506,3	87,7	-491,6
	SnS	Буро-черный, тетрагон.	5,08	882	—	—	—	-110,2	77,0	-108,3
	SnS ₂	Желтый, тригон.	4,5	Разлаг.	—	раствор.	раствор.	-82,5	87,5	-74,1

Sn	SnSO ₄	Белый крист.	—	Разлаг. ³⁶⁰	—	19 ²⁰	18,1 ¹⁰⁰	-887,0	—	—
	Sn(SO ₄) ₂	Бесцвет. крист.	—	—	—	В. раствор.	Реаг.	-1650,0	155,2	-1451,0
	SnCl ₄ (ж)	Бесцвет. дымящая ж.	2,23	-33	113,7	Раствор, реаг.	Реаг.	-528,9	299,6	-457,7
Pb	Pb	Серебр. мягкий металл, куб.	11,34	327,3	1751	He раствор.	He раствор.	0,0	64,8	0,0
	Pb (г)	—	—	—	—	—	—	195,6	175,3	162,2
	PbCO ₃	Бесцвет., ромб.	6,60	Разлаг. ³¹⁵	—	He раствор.	Реаг.	-699,6	131,0	-625,9
	Pb(NO ₃) ₂	Бесцвет., куб.	4,53	Разлаг. ⁴⁷⁰	—	52,2 ²⁰	127 ¹⁰⁰	-451,7	217,9	-256,9
	PbO	Желтый (красный), тетрагон.	9,53	890	1473	He раствор.	—	-219,3	66,2	-189,1
	Pb ₃ O ₄	Красно-оранжевый	—	—	—	He раствор.	—	-723,4	211,3	-606,2
	PbO ₂	Коричневый ромб., тетрагон.	9,37	Разлаг. ²⁹⁰	—	He раствор.	He раствор.	-276,6	74,9	-218,3
	Pb(OH) ₂	Белый аморф., гексагон.	—	Разлаг. ¹⁴⁵	—	He раствор.	Сл. раствор.	-512,5	—	-451,3
	PbS	Сине-серый, куб.	7,5	1114	—	He раствор.	—	-100,4	91,2	-98,8
	PbSO ₄	Бесцвет., ромб.	6,2	Разлаг. ¹⁰⁰⁰	—	He раствор.	He раствор.	-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 (ж)	Желтая маслян. ж.	3,18	-15	Взрыв. 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 ¹	844	Разлаг.	He раствор.	—	-910,9	152,7	-819,6

Элемент	Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	d, г/см ³	t _{пл} [*] , °C	t _{кип} [*] , °C	Растворимость в воде [*] , г/100 г Н ₂ O [*]		ΔH ²⁹⁸ , кДж/моль	S ²⁹⁸ , Дж/(К·моль)	Δ _f G ²⁹⁸ , кДж/моль
						хол.	гор.			
N	N ₂ (г)	Бесцвет. газ	—	-210,0	-195,8	2,3 ⁰ мл	0,8 ⁶⁰ мл	0,0	199,9	0,0
	N (г)	—	—	—	—	—	—	472,8	153,2	455,5
	NH ₄ ⁺ (р)	Раствор	—	—	—	—	—	-132,4	114,4	-79,5
	NO ₃ ⁻ (р)	Раствор	—	—	—	—	—	-207,5	147,3	-111,7
	NH ₃ (г)	Бесцвет. газ	—	-77,8	-33,5	56,2 ²⁰	18,4 ⁵⁶	-46,2	192,6	-16,7
	N ₂ H ₄ (ж)	Бесцвет. ж.	1,01	1,5	113,5	∞	∞	50,5	121,4	149,2
	N ₂ H ₄ (г)	Бесцвет. газ	—	-80	36	∞	∞	95,4	238,4	159,3
	NN ₃ (ж)	Бесцвет. ж.	1,13	—	—	—	—	264,0	140,6	327,2
	NN ₃ (г)	Бесцвет. газ	—	33,5	56,5 ²²	—	—	294,0	238,9	328,0
	NH ₂ OH	Бесцвет. ромб.	1,20	149,6	Разлаг. ¹⁷⁰	Раствор.	120 ⁰	-115,0	66,5	-17,4
	NH ₄ SCN	Бесцвет. распыльв., монокл.	1,30	—	—	—	—	-82,0	261,1	10,5
	NH ₄ NO ₂	Желтовато-белый	1,69	Разлаг.	—	—	—	-256,1	—	—
	NH ₄ NO ₃	Бесцвет., ромб.	1,72	169,6	Разлаг. ²¹⁰	—	180,1 ^{19,5}	-365,4	151,0	-183,8
	(NH ₄) ₂ SO ₄	Бесцвет., ромб.	1,77	Разлаг. ³⁵⁰	—	—	122 ⁰	-1180,0	220,0	-901,3
NH ₄ Cl	Бесцвет., куб.	1,53	Возг. ^{37,6}	—	—	70,1 ⁰	-314,2	95,8	-203,2	
NH ₄ ClO ₄	Бесцвет., ромб.	1,95	Разлаг.	—	—	29,4 ⁰	-295,9	184,3	-88,8	
NH ₄ Br	Бесцвет., куб.	2,40	Возг.	—	—	12 ⁰	-270,1	112,9	-174,7	
(NH ₄) ₂ CrO ₄	Желтый, монокл.	1,91	Разлаг. ¹⁸⁰	—	—	59,5 ⁰	-1182,4	167,78	-995,8	
(NH ₄) ₂ Cr ₂ O ₇	Оранжевый, монокл.	2,15	Разлаг.	—	—	24,7 ⁰	-1799,1	—	—	
NH ₄ VO ₃	Бесцвет. (желтоватый), ромб.	2,33	Разлаг.	—	—	35,6 ²⁰	-1051,0	140,6	-886,2	

N	N ₂ O (г)	Бесцвет. газ или ж.	—	-90,8	-89,5	130,0 ⁰	54,4 ²⁵	82,1	224,6	104,2
	NO (г)	Бесцвет. газ, синяя ж.	—	-163,7	-151,8	7,38 ⁰	2,6 ¹⁰⁰	90,3	210,6	86,6
	N ₂ O ₃ (г)	Красно-бурый газ; синяя ж.; белые крист.	—	-102	Разлаг. ^{3,5}	Реаг.	Реаг.	83,3	307,3	140,6
	N ₂ O ₄ (ж)	Желтая ж.; бесцвет., куб.	1,49	-11,2	20,7	Реаг.	Реаг.	9,0	220,0	98,0
	N ₂ O ₄ (г)	Бесцвет. газ	—	—	—	—	—	9,6	303,7	98,4
	NO ₂ (г)	Красно-бурый газ	—	—	—	—	—	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
	N ₂ O ₅ (г)	Бесцвет. газ	—	—	—	—	—	11,7	355,6	115,6
	HNO ₃ (ж)	Бесцвет. ж.	1,50	-42	83,8	∞	∞	-174,1	156,6	-80,8
	HNO ₃ (г)	Бесцвет. газ	—	—	—	—	—	-135,1	266,9	-78,4
	NF ₃ (г)	Бесцвет. газ	—	-216,6	-129,0	В. сл. раствор.	—	-126,0	260,6	-84,4
	NOF (г)	Бесцвет. газ или ж.	—	-134	-60,0	Реаг.	Реаг.	-66,5	247,9	-51,0
	NOCl (г)	Желтый газ; желтовато-красная ж.	—	-61,5	-5,5	Реаг.	Реаг.	52,5	261,5	66,9
	NOBr (г)	Бурый газ (или ж.)	—	-55,5	-2,0	Реаг.	Реаг.	82,2	273,5	82,4
	NOI (г)	Газ	—	—	—	—	—	100,0	282,8	92,4
	NO ₂ F (г)	Бесцвет. газ	—	-166	-72,6	Реаг.	Реаг.	-108,8	260,2	-66,5
	NO ₂ Cl (г)	Желтовато-бурый газ.; светло-коричневая ж.	—	<-31	5,0	Реаг.	Реаг.	12,5	272,0	54,4
	NO ₃ F (г)	—	—	—	—	—	—	10,5	292,8	73,6

Элемент	Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	d, г/см ³	t _{пл} , °С	t _{крит} , °С	Растворимость в воде*, г/100 г Н ₂ O*		ΔH ⁰ ₂₉₈ , кДж/моль	S ⁰ ₂₉₈ , Дж/(К·моль)	ΔG ⁰ ₂₉₈ , кДж/моль
						хол.	гор.			
Р	Р (белый)	Бесцвет. или желтоватый воскообразн., куб.	1,82	44,1	275	Не раствор.	Сл. раствор.	0,0	41,1	0,0
	Р (красный)	Красно-коричневый, куб.	2,20	590 ⁴³ атм	Возг. ⁴¹⁶	Не раствор.	Не раствор.	-17,6	22,8	-11,9
	Р (черный)	Черный, ромб.	2,70	Возг. ^{452,8}	—	—	—	-38,9	22,7	-33,47
	P ₄ (г)	—	—	—	—	—	—	58,9	279,9	24,5
	Р (г)	—	—	—	—	—	—	314,6	163,1	278,3
	H ₂ PO ₄ ⁻ (р)	Раствор	—	—	—	—	—	-1302,5	90,37	-1135,1
	HPO ₄ ²⁻ (р)	Раствор	—	—	—	—	—	-1298,7	-36,8	-1094,1
	H ₂ P ₂ O ₇ ²⁻ (р)	Раствор	—	—	—	—	—	-2278,6	175,7	-2015,0
	PH ₃ (г)	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	Реаг.	Реаг.	-1640,0	—	—
	P ₄ O ₁₀	Белый расплыв., монокл.	2,39	563 (лам)	Возг. ³⁴⁷	Реаг.	Реаг.	-2984,0	228,8	-2697,8
	HPO ₃	Бесцвет. расплыв., стекл.	2,2	Возг.	—	Реаг.	Реаг.	-976,9	—	—
	H ₃ PO ₄	Бесцвет. расплыв., ромб.	1,83	42,35	-1/2Н ₂ O ²¹³	548 ²⁰	В. раствор.	-1279,0	110,5	-1119,1
POF ₃ (г)	Бесцвет. газ.	—	-39,1	—	Реаг.	Реаг.	-1197,3	284,9	-1148,9	
POCl ₃ (ж)	Бесцвет. дымящаяся ж.	1,67	1,2	105	Реаг.	Реаг.	-597,1	222,5	-521,3	

P	PF ₃ (r)	Бесцвет. газ	—	-151,6	-101,8	Реаг.	Реаг.	-956,5	272,6	-935,7
	PF ₅ (r)	Бесцвет. газ	—	-94	-84,6	Реаг.	Реаг.	-1593,0	296,0	-1517,2
	PCl ₃ (ж)	Бесцвет. дымящаяся ж.	1,56	-94	76	Реаг.	Реаг.	-311,7	—	—
	PCl ₃ (r)	Бесцвет. газ	—	167 ^(длин)	Возг. ^{>159}	Реаг.	Реаг.	-287,0	311,7	-260,5
	PCl ₅	Желтовато-белый, тетрагон.	2,11	—	—	—	—	—	—	—
	PCl ₅ (r)	Бесцвет. газ	—	—	—	—	—	-366,0	364,5	-305,4
	PBr ₃ (ж)	Бесцвет. дымящаяся ж.	2,85	-40	172,9	Реаг.	Реаг.	-184,0	240,2	-175,7
	PBr ₃ (r)	Бесцвет. газ	—	—	—	—	—	-132,0	348,0	-155,7
	PBr ₅	Желтый, ромб.	—	Разлаг. ^{<100}	Разлаг. ¹⁰⁶	Реаг.	Реаг.	-184,0	240,2	-175,7
As	As (серый)	Серый металл, тригон.	5,73	~817 ^{36атм}	Возг. ⁶¹²	He раствор.	He раствор.	0,0	36,6	0,0
	As (r)	—	—	—	—	—	—	288,7	175,1	142,2
	AsO ₄ ³⁻ (p)	Раствор	—	—	—	—	—	-880,0	-163,0	-648,0
	AsH ₃ (r)	Бесцвет. газ	—	-116,9	-62,3	20 ²⁰ мл	—	66,4	223,0	68,9
	As ₄ O ₆	Белый аморфный или стекловидный	3,74	315	457,2	2,05 ²⁵	8,18 ⁸	-1331,6	245,0	-1178,8
	As ₂ O ₅	Белый аморф.	4,09	Разлаг. ³¹⁵	—	65,8 ²⁰	76,7 ¹⁰⁰	-924,9	105,4	-782,4
	As ₂ S ₃	Красный (желтый), монокл.	3,43	300	707,0	He раствор.	Сл. раствор.	-159,0	163,6	-158,0
	AsF ₃ (ж)	Бесцвет. ж.	2,66	-13	56,3	Реаг.	Реаг.	—	—	—
	AsF ₃ (r)	Бесцвет. газ	—	—	—	—	—	-920,6	289,0	-907,7
	AsF ₅ (r)	Бесцвет. газ	—	-80,8	-52,9	Реаг.	Реаг.	-1236,5	—	-1172,8
	AsCl ₃ (ж)	Бесцвет. маслян.ж.	2,16	-18	130,0	Реаг.	Реаг.	—	—	—
	AsCl ₃ (r)	Бесцвет. газ	—	—	—	—	—	-305,0	221,2	-268,4
	AsBr ₃	Бесцвет., ромб.	3,40	31	221,0	Реаг.	Реаг.	-197,5	159,0	-161,7

Элемент	Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	d , г/см ³	$t_{пл}^*$, °C	$t_{кип}^*$, °C	Растворимость в воде*, г/100 г H ₂ O*		$\Delta_f H_{298}^{\circ}$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^{\circ}$, кДж/моль
						хол.	гор.			
As	AsI ₃	Красный, тригон.	4,39	142,0	403,0	Сл. раствор.	Реаг.	-58,2	163,6	-65,8
Sb	Sb	Серебр.-белый металл	6,68	627,0	1625,0	He	He раствор.	0,0	45,7	0,0
	Sb (г)	—	—	—	—	—	—	268,6	180,0	228,5
	SbH ₃ (г)	Бесцвет. газ	—	-88,5	-17,0	—	—	—	—	—
	Sb ₂ O ₃	Серый, ромб.	5,67	655,0	1425,0	Сл. раствор.	Сл.	—	—	—
	Sb ₂ O ₅	Желтый, куб.	3,78	-O ₂ ³⁸⁰	—	0,3	раствор.	-1007,5	125,1	-864,7
	Sb ₂ S ₃	Серый крист.	3,14	73,4	218,6	988 ²⁵	∞ ¹⁰⁰	-155,7	181,6	-156,1
	SbCl ₃	Бесцвет., ромб.	4,15	97,0	280,0	Реаг.	Реаг.	-381,2	183,0	-322,5
Bi	SbBr ₃	Бесцвет. ромб.	4,77	167,0	401,0	Реаг.	Реаг.	—	—	—
	SbI ₃	Красный тригон., монокл.	—	—	—	—	—	—	—	—
Bi	Bi	Серебр.-белый металл	9,78	271,3	1430,0	He	He раствор.	0,0	56,9	0,0
	Bi (г)	—	—	—	—	—	—	207,1	186,9	159,6
	Bi ³⁺ (р)	Раствор	—	—	—	—	—	81,0	-175,0	91,9
	Bi ₂ O ₃	Желтый, ромб.	8,90	820,0	1890,0	He	He раствор.	-577,8	151,0	-497,3
	Bi(OH) ₃	Белый аморф. порошок	4,36	-H ₂ O ¹⁰⁰	—	He	He раствор.	-711,5	118,0	-580,3
	Bi ₂ S ₃	Черно-коричневый, ромб.	6,50	Разлаг. ⁶⁸⁵	—	He	He раствор.	-155,6	200,4	-152,9
	Bi ₂ (SO ₄) ₃	Бесцвет. иголки	5,08	Разлаг. ⁴¹⁸	—	Реаг.	Реаг.	-2554,0	—	-2583,3

Ві	ВіСl ₃	Белый распыль.	4,75	230,0	440,0	Реаг.	Реаг.	-379,0	172,0	-313,1
	ВіОСl	Бесцвет., тетрагон.	7,72	—	—	Сл. раствор	—	-371,4	102,6	-231,2
	ВіI ₃	Серо-черный, тригон.	5,64	408,0	Разлаг. ⁵⁰⁰	He раствор.	Реаг.	-108,9	234,0	-175,4
О	O ₂ (г)	Бесцвет. газ, голубая ж.	—	-218,8	-182,97	4,89 ⁰ мл	2,09 ⁵⁰ мл	0,0	205,0	0,0
	O (г)	—	—	—	—	—	—	246,8	160,9	231,8
	O ₃ (г)	Бесцвет. газ, темно-синяя ж.	—	-251,4	-111,9	49,4 ⁰	—	142,3	238,8	162,7
	ОН ⁻ (р)	Раствор	—	—	—	—	—	-230,2	-10,9	-157,2
	H ₂ O (кр.)	Бесцвет. крист.	0,92	0,0	100,0	—	—	-291,8	70,1	-237,2
	H ₂ O (ж)	Бесцвет. ж.	1,00	—	—	—	—	-285,8	188,7	-228,6
	H ₂ O (г)	Бесцвет. газ	—	—	—	—	—	-241,8	109,5	-120,4
	H ₂ O ₂ (ж)	Бесцвет. ж.	—	—	—	—	—	-187,8	31,9	0,0
С	S (ромб.)	Желтый, ромб.	2,07	112,8	444,6	He раствор.	He раствор.	0,0	32,6	0,19
	S (монокл.)	Желтый, монокл.	1,95	119,25	444,6	He раствор.	He раствор.	0,38	167,7	232,4
	S (г)	—	—	—	—	—	—	273,0	228,2	78,6
	S ₂ (г)	—	—	—	—	—	—	127,6	444,2	45,9
	S ₈ (г)	—	—	—	—	—	—	101,9	-26,8	92,5
	S ²⁻ (р)	Раствор	—	—	—	—	—	35,8	-635,5	-29,3
	SO ₃ ²⁻ (р)	Раствор	—	—	—	—	—	-910,8	20,1	-744,9
	SO ₄ ²⁻ (р)	Раствор	—	—	—	—	—	-21,0	205,7	-33,8
	H ₂ S (г)	Бесцвет. газ	—	-85,7	-60,8	291 ²⁰ мл	186 ⁴⁰ мл	—	—	—
	SO ₂ (ж)	Бесцвет. ж.	—	-75,5	-10,1	—	—	-331,1	—	—

Элемент	Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	d, г/см ³	t _{пл} [*] , °C	t _{кпл} [*] , °C	Растворимость в воде [*] , г/100 г H ₂ O*		ΔH ²⁹⁸ , кДж/моль	S ²⁹⁸ , Дж/(К·моль)	Δ _f G ²⁹⁸ , кДж/моль
						хол.	гор.			
S	SO ₂ (г)	Бесцвет. газ	—	—	—	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. ж.	—	—	—	—	—	-439,0	122,0	-368,0
	^γ SO ₃ (г)	Бесцвет. газ	—	—	—	∞	∞	-396,1	256,4	-370,0
	H ₂ SO ₄ (ж)	Бесцвет. вязкая ж.	1,83	10,37	330,0	—	—	-814,2	156,9	-690,3
	SOCl ₂ (ж)	Бесцвет. ж.	1,65	-105,0	74,8	Реаг.	Реаг.	-246,8	—	—
	SOCl ₂ (г)	Бесцвет. газ	—	—	—	—	—	-212,3	307,9	-197,6
	SO ₂ Cl ₂ (ж)	Бесцвет. ж.	1,67	-54,1	69,1	Реаг.	Реаг.	-391,2	216,3	-305,0
	SO ₂ Cl ₂ (г)	Бесцвет. газ	—	—	—	—	—	-360,7	311,3	-316,3
	S ₂ Cl ₂ (ж)	Красно-желтая ж.	1,68	-80,0	136,8	Реаг.	Реаг.	-58,2	—	—
	S ₂ Cl ₂ (г)	Газ	—	—	—	—	—	-15,3	320,9	-26,9
	SCl ₂ (ж)	Темно-красная дымящаяся ж.	1,62	-78,0	59,0	Реаг.	Реаг.	-49,4	—	—
Se	Se	Коричнево-черный стекловидный	4,28	—	685,0	He	He	0,0	42,2	0,0
	Se (стекл.)	Красный аморф. порошок	4,82	220,0	657,0	раствор.	раствор.	5,4	51,5	2,6
		H ₂ Se (г)	Бесцвет. газ	—	-65,7	-42,0	раствор.	раствор.	33,0	218,8
	SeO ₂	Бесцвет., тетрагон.	3,95	340 ^(дани)	Возг. ³³⁷	377 ⁴ мл	270 ²⁵ мл	-225,7	66,7	-171,6
	SeO ₂ (г)	Газ	—	—	—	264 ²²	472 ⁶⁵	-125,8	264,8	-133,2
	SeF ₆ (г)	Бесцвет. газ	—	-39,0	—	—	—	-1029,0	313,8	-928,9
Te	Te	Серебр.-белый, тригон. или коричнево-черный аморф.	6,25	452,5	1012,0	He	He	0,0	49,6	0,0

Te	Te (r)	—	—	—	—	—	—	191,7	182,4	152,0
	TeO ₂	Белый тетрагон., ромб.	5,67	Возг. ⁴⁵⁰	—	—	—	-322,6	79,8	-270,2
	TeO ₂ (r)	Газ	—	—	—	—	—	-51,9	271,9	-57,3
	TeF ₆	Бесцвет. газ	—	-37,6	-35,5	Реаг.	Реаг.	-1323,0	337,3	-1226,4
	F ₂ (r)	Зеленовато-желтый газ	—	-223,0	-188,1	Реаг.	Реаг.	0,0	202,9	0,0
	F (r)	—	—	—	—	—	—	79,5	158,7	62,4
F	F ⁻ (r)	—	—	—	—	—	—	-239,7	145,5	-266,6
	F ⁻ (p)	Раствор	—	—	—	—	—	-331,7	-13,8	-277,9
	HF ₂ ⁻ (p)	Раствор	—	—	—	—	—	-642,3	113,6	-576,7
	HF (r)	Бесцвет. газ или ж.	0,99	-87,2	19,5	В.	В.	-270,9	173,7	-272,8
						раствор.	раствор.			
Cl	Cl ₂ (r)	Желтовато-зеленый газ	—	-101,3	-34,7	0,7 ²⁰	0,2 ⁸⁰	0,0	222,9	0,0
	Cl (r)	—	—	—	—	—	—	121,3	165,1	105,3
	Cl ⁻ (r)	—	—	—	—	—	—	-233,6	153,2	-239,9
	Cl ⁻ (p)	Раствор	—	—	—	—	—	-167,2	56,5	-131,4
	ClO ⁻ (p)	Раствор	—	—	—	—	—	-110,1	33,0	-36,6
	ClO ₂ ⁻ (p)	Раствор	—	—	—	—	—	-69,0	100,4	14,6
	ClO ₃ ⁻ (p)	Раствор	—	—	—	—	—	-98,3	163,2	-2,6
	ClO ₄ ⁻ (p)	Раствор	—	—	—	—	—	-131,4	180,7	-10,8
	HCl (r)	Бесцвет. газ	—	-114,2	-85,1	82,3 ⁰	56,1 ⁶⁰	-91,8	186,8	-94,8
	Cl ₂ O (r)	Желтовато-бурый газ	—	-121	Разлаг. ²	Реаг.	Реаг.	75,7	266,2	93,0
	ClO ₂ (r)	Зеленовато-желтый газ или бурая ж.	—	-59,0	9,9	Реаг.	Реаг.	105,0	257,0	122,3
	Cl ₂ O ₆	Темно-красная маслян. ж.	2,02	3,5	—	Реаг.	Реаг.	-155,0	—	—

Элемент	Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	d, г/см ³	t _{пл} [*] , °C	t _{кап} [*] , °C	Растворимость в воде*, г/100 г H ₂ O*		ΔH ⁰ ₂₉₈ , кДж/моль	S ⁰ ₂₉₈ , Дж/(К·моль)	ΔG ⁰ ₂₉₈ , кДж/моль
						хол.	гор.			
Cl	Cl ₂ O ₇ (ж)	Бесцвет. маслян. ж.	1,86	-91,5	Разлаг. ^{79,8}	Реаг.	Реаг.	272,0	—	—
	Cl ₂ O ₇ (т)	Бесцвет. газ	—	—	—	—	—	286,6	—	399,1
	HClO ₄ (ж)	Бесцвет. ж.	1,77	-112	1618 ^{горр}	Раствор.	Раствор.	-34,5	188,0	84,3
	ClF (т)	Бесцвет. газ	—	-155,6	-100,1	Реаг.	Реаг.	-49,9	217,8	-51,4
	ClF ₃ (ж)	Бесцвет. газ или ж.	—	-83,0	11,75	Реаг.	Реаг.	-157,7	281,5	-117,8
Br	Br ₂ (ж)	Темно-красная ж.	3,10	-7,3	57,9	3,58 ²⁰	Реаг.	0,0	152,2	0,0
	Br ₂ (т)	—	—	—	—	—	—	30,9	245,5	3,1
	Br (т)	—	—	—	—	—	—	111,8	186,9	82,4
	Br ⁻ (т)	Раствор	—	—	—	—	—	-218,9	163,4	-238,7
	Br ⁻ (р)	Раствор	—	—	—	—	—	-131,2	83,3	-107,1
	BrO ₃ ⁻ (р)	Раствор	—	—	—	—	—	-40,2	161,1	1,8
	HBr (т)	Бесцвет. газ	—	-88,5	-66,8	221 ⁰	130 ¹⁰⁰	-34,1	198,6	-51,2
	BrF (т)	Красно-коричневый газ; красная ж.	—	-33,0	20,0	Реаг.	Реаг.	-42,5	228,9	-57,7
I	BrF ₃ (ж)	Светло-желтая ж.	2,84	8,8	125,7	Реаг.	Реаг.	-303,1	178,1	-242,9
	BrF ₅ (ж)	Бесцвет. ж.	2,47	-61,4	40,4	Реаг.	Реаг.	—	—	—
	BrF ₅ (т)	Бесцвет. газ	—	—	—	—	—	-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	0,0	116,1	0,0
	I ₂ (т)	—	—	—	—	—	—	62,4	260,6	19,4
I (т)	—	—	—	—	—	—	106,3	178,8	69,5	
I ⁻ (т)	—	—	—	—	—	—	-195,0	167,4	-221,0	

Элемент	Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	d , г/см ³	$t_{пл}$, °С	$t_{кип}$, °С	Растворимость в воде*, г/100 г Н ₂ O*		ΔH_{298}° , кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
						хол.	гор.			
Sc	Sc (r)	—	—	—	—	—	—	343,1	174,7	302,2
	Sc ₂ O ₃	Белый, куб.	3,86	—	—	He раствор.	He раствор.	-1908,6	77,0	-1917,5
Y	Y	Серо-черный металл	4,34	1525,0	2780,0	Реаг.	Реаг.	0,0	46,0	0,0
	Y (r)	—	—	—	—	—	—	426,8	—	384,9
	Y ₂ O ₃	Бесцвет., куб.	4,84	2410,0	4300,0	He раствор.	—	-1904,0	99,2	-1800,0
	Y(OH) ₃	Светло-желтые крист. (студ.)	—	Разлаг.	—	He раствор.	He раствор.	-1412,5	96,3	-1290,0
La	YCl ₃	Монокл.	—	857	Разлаг.	Раствор.	Раствор.	-982,4	136,8	-900,0
	La	Серебр.-серый металл	6,15	887	3370	Реаг.	Реаг.	0,0	57,3	0,0
	La (r)	—	—	—	—	—	—	416,7	182,3	379,5
	La ₂ O ₃	Белый тригон., куб.	6,51	2320	4200	He раствор.	Реаг.	-1793,1	128,4	-1705,8
	La ₂ (SO ₄) ₃ LaCl ₃	Бесцвет. порошок Бесцвет. распыльв., гексагон.	3,60 3,84	Разлаг. ¹¹⁵⁰ 855	— 1672	2,14 ²⁵ 92,8 ⁰	0,69 ¹⁰⁰ 170 ⁹²	-3932,1 -1870,7	— 144,3	-3598,2 -1028,8
Ac	Ac	Серебр. металл, куб.	10,1	1050	~3300	Реаг.	Реаг.	0,0	62,8	0,0
	Ac ₂ O ₃	Белый, гексагон.	9,19	—	—	—	—	-2050,2	133,9	-1958,1
Ti	Ti	Серебр.-серый металл	4,54	1660	3170	He раствор.	He раствор.	0,0	30,6	0,0
	Ti (r)	—	—	—	—	—	—	471,1	180,2	426,5
	TiH ₂	Крист.	—	—	—	—	—	-144,3	29,7	-105,1

Ti	TiC	Серый, куб.	4,93	3140	4300	He раствор.	He раствор.	-209,0	24,2	-205,7
	TiN	Желтый, куб.	5,43	2927	—	He раствор.	He раствор.	-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	2130 ^{разлаг.}	—	He раствор.	He раствор.	-1518,0	77,3	1431,0
	TiO ₂ (рутил)	Бесцвет. тетрагон.	4,26	Разлаг. ¹⁶⁴⁰	—	He раствор.	He раствор.	-943,6	50,3	-888,6
	H ₂ TiO ₃	Белый аморф. по- рошок	—	—	—	He раствор.	He раствор.	—	—	-1058,5
	TiF ₄	Белый аморф. по- рошок	2,80	—	284	Реаг.	—	-1649,3	133,9	-1559,2
	TiCl ₂	Светло-коричн.(чер- ный), тригон.	3,06	Возг. в H ₂	—	Реаг.	Реаг.	-516,7	105,8	-472,7
	TiCl ₃	Темно-фиолетовый расплав. тригон.	2,65	Разлаг. ^{440,0}	—	Раствор.	Раствор.	-719,6	130,1	-654,0
	TiCl ₄ (ж)	Бесцвет.(светло- желтая) ж.	1,73	-23,0	136,5	Раствор.	Реаг.	-804,2	252,8	-737,4
	TiCl ₄ (г)	Газ	—	—	—	—	—	-763,2	352,2	-726,1
	TiBr ₄	Желтый расплав., куб.	2,60	38,0	220	Реаг.	Реаг.	-619,2	243,5	-592,0
	TiI ₄	Красный куб.	4,40	150,0	377,1	В. раствор.	Реаг.	-386,6	246,0	-381,6
	TiI ₄ (г)	Газ	—	—	—	—	—	-287,0	433,0	-337,7
Zr	Zr	Светло-серый металл, гексагон.	6,49	1830	4225	He раствор.	He раствор.	0,0	39,0	0,0
	Zr (г)	—	—	—	—	—	—	608,4	181,2	566,0

Элемент	Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	d, г/см ³	t _{пл.} , °C	t _{кип.} , °C	Растворимость в воде*, г/100 г H ₂ O*		ΔH _{р.} ²⁹⁸ , кДж/моль	S ²⁹⁸ , Дж/(К·моль)	ΔG ²⁹⁸ , кДж/моль	
						хол.	гор.				
Zr	ZrC	Серый, куб.	6,70	3492	5100	He	He	-206,7	33,3	-197,4	
	ZrO ₂	Белый гексагон., куб., тетрагон.	5,73	2680	—	He	He	-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.	Реаг.	-3468,0	—	-2989,0	
	ZrF ₄	Белый, монокл.	4,43	Возг.	Разлаг.	Сл.	Реаг.	-1911,3	104,6	-1809,9	
Hf	ZrCl ₄	Белый, куб.	2,80	Возг. ^{>300}	—	Реаг.	Реаг.	-979,8	181,4	-889,3	
	Hf	Серебр.-белый металл, гексагон. или куб.	13,1	2222	5400	He	—	0,0	43,5	0,0	
	Hf (r)	—	—	—	—	—	—	702,9	186,8	656,9	
	HfC	Серый, куб.	12,2	3887	—	—	—	-217,1	40,1	-205,6	
	HfO ₂	Белый, куб.	9,68	2780	—	He	He	-1117,5	59,3	-1061,1	
	HfF ₄	Бесцвет., монокл.	7,13	Возг. ⁸⁰⁰	—	He	раствор.	-1930,0	113,0	-1830,0	
	HfCl ₄	Бесцвет., куб.	—	434 ^(кип)	Возг. ³¹⁵	—	—	-990,0	192,0	-901,0	
	V	V	Светло-серый металл, куб.	6,11	1900	3330	He	He	0,0	28,9	0,0
	V (r)	—	—	—	—	—	—	55,3	182,2	469,5	
	V ²⁺ (p)	Раствор	—	—	—	—	—	-221,9	-114,3	-218,1	
V ³⁺ (p)	Раствор	—	—	—	—	—	-257,9	-217,5	-242,8		

Продолжение табл. П2.21

Элемент	Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	d , г/см ³	$t_{пл}^*$, °C	$t_{кип}^*$, °C	Растворимость в воде*, г/100 г H ₂ O*		ΔH_f^{298} , кДж/моль	S^{298} , Дж/(К·моль)	ΔG^{298} , кДж/моль
						хол.	гор.			
Ta	TaF ₅	Бесцвет., тетрагон.	4,74	95,1	229,5	Раствор.	—	-1903,6	170,0	-1790,8
	TaCl ₅	Светло-желтые крист.	3,68	220,0	242,0	Реаг.	Реаг.	-857,9	238,0	-750,5
Cr	Cr	Серый металл, куб. или гексагон.	7,16	1875,0	2480,0	He раствор.	He раствор.	0,0	23,6	0,0
	Cr (r)	—	—	—	—	—	—	397,5	174,2	352,6
	Cr ²⁺ (p)	Раствор	—	—	—	—	—	-139,0	41,9	-183,4
	Cr ³⁺ (p)	Раствор	—	—	—	—	—	-236,1	-215,6	-223,2
	Cr(CO) ₆	Бесцвет., ромб.	1,77	Возг.	Разлаг. ¹³⁰	—	—	-1077,4	314,0	-970,4
	Cr(CO) ₆ (r)	Бесцвет. газ	—	—	—	—	—	-1005,8	487,6	-950,6
	CrN	Аморф. или куб.	5,90	Разлаг. ¹⁷⁰	—	He раствор.	He раствор.	-123,4	52,7	-103,5
	Cr ₂ O ₃	Зеленый, тригон.	5,21	1990,0	—	He раствор.	He раствор.	-1140,6	81,2	-1059
	CrO ₃	Крист. распыльв., ромб.	2,70	196,0	Разлаг.	166 ¹⁵	199 ¹⁰⁰	-585,8	72,0	-506,3
	CrO ₄ ²⁻ (p)	Раствор	—	—	—	—	—	-882,2	54,2	-739,9
	Cr ₂ O ₇ ²⁻ (p)	Раствор	—	—	—	—	—	-1491,9	270,6	-1305,4
	Cr(OH) ₂	Крист. или аморф.	—	—	—	—	—	-677,8	81,2	-587,8
Cr(OH) ₃	Крист. или аморф.	—	—	—	—	—	-1000,0	80,3	-849,0	
CrO ₂ Cl ₂ (ж)	Темно-красная ж.	1,91	-96,5	116	Реаг.	Реаг.	-598,7	206,9	-524,7	
Cr ₂ (SO ₄) ₃	Светло-зеленый	2,2	Разлаг.	—	Раствор.	Раствор.	-3308,0	288,0	-2984,0	

Cr	CrF ₃	Зеленый, ромб.	3,80	>1000	Возг.	Сл. раствор	Раствор	-1159,0	94,1	-1089,3
	CrCl ₂	Белый распыльч. 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	Mo	Серебр.-белый металл, куб.	10,20	2550	4800	He раствор.	He раствор.	0,0	28,6	0,0
	Mo (r)	—	—	—	—	—	—	659,0	181,8	604,9
	MoO ₄ ²⁻ (p)	Раствор	—	—	—	—	—	-996,6	58,6	-915,5
	Mo ₂ C	Черный, гексагон.	8,90	2680	—	He раствор.	—	-46,0	—	-46,9
	Mo(CO) ₆	Белый, ромб. или монокл.	1,95	Разлаг. ¹⁵⁰	—	He раствор.	He раствор.	-983,2	327,0	-878,6
	MoO ₂	Сине-серые крист.	6,47	—	—	He раствор.	He раствор.	-689,1	46,3	-533,2
	MoO ₃	Светло-желтые крист.	4,50	795	1155	0,138 ²⁰	2,107 ⁸⁰	-745,2	77,7	-668,1
	H ₂ MoO ₄	Белый (светло-желтые) крист.	3,11	Разлаг. ¹¹⁵	—	Сл. раствор	Сл. раствор.	-1045,1	159,0	-950,0
	MoS ₂	Черный, гексагон.	4,80	1185	—	He раствор.	He раствор.	-248,1	62,6	-239,2
	MoF ₆	Бесцвет.	2,55	17	36	Реаг.	Реаг.	-1585,4	259,7	-1473,0
	MoCl ₂	Желтый аморф.	3,71	Разлаг.	—	He раствор.	He раствор.	-288,7	119,2	-144,8
	MoCl ₃	Темно-красные иглы	3,58	Разлаг.	—	He раствор.	Сл. реаг.	-393,0	138,0	-204,0
	MoCl ₄	Красно-коричневый, гипр.	—	Разлаг.	—	Реаг.	Реаг.	-479,5	180,0	-391,6
	MoCl ₅	Зеленовато-черный, гипр.	2,93	194	264	Реаг.	Реаг.	-526,8	230,0	-420,6

Элемент	Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	d, г/см ³	t _{пл.} , °C	t _{кв.} , °C	Растворимость в воде*, г/100 г H ₂ O*		ΔH° ₂₉₈ , кДж/моль	S° ₂₉₈ , Дж/(К·моль)	ΔG° ₂₉₈ , кДж/моль
						хол.	гор.			
W	W	Серый металл, куб.	19,30	3380	5370	He раствор.	He раствор.	0,0	32,7	0,0
	W (r)	—	—	—	—	—	—	844,3	173,8	802,3
	WO ₄ ²⁻ (p)	Раствор	—	—	—	—	—	-1115,4	62,8	-920,5
	WC	Черный (серый), гексагон.	15,60	2870	~6000	He раствор.	—	-41,0	35,0	-39,5
	W(CO) ₆	Бесцвет., ромб.	2,65	Возг. ⁵⁰	Разлаг. ¹⁷⁵	—	—	—	—	—
	W(CO) ₆ (r)	Бесцвет. газ	—	—	~1700,0	He раствор.	He раствор.	-877,0	4,18	-825,9
	WO ₂	Бурый, тетрагон.	12,10	~1270	—	—	—	-589,6	50,5	-533,9
	WO ₃	Желтый или оранжево-желтый, триклин.	7,16	1470	—	He раствор.	He раствор.	-842,7	75,9	-763,9
	WO ₂ Cl ₂	Светло-желтый	—	266	—	Раствор.	Реаг.	-835,5	186,6	-753,8
	H ₂ WO ₄	Желтый, ромб.	5,50	-H ₂ O ¹⁰⁰	—	He раствор.	Сл. раствор.	-1132,0	117,2	-1036,4
WF ₆ (r)	Бесцвет. газ., светло-желтая ж.	—	0,5	17,7	Реаг.	Реаг.	-1721,5	353,5	-1635,9	
Mn	Mn	Серо-розовый металл, куб.	7,20	1244	2120,0	Реаг.	Реаг.	0,0	32,0	0,0
	Mn (r)	—	—	—	—	—	—	279,2	173,6	237,0
	Mn ²⁺ (p)	Раствор	—	—	—	—	—	-223,1	-74,9	-227,6
	MnCO ₃	Коричневый аморф. порошок, или ромбический ромб.	3,12	Разлаг.	—	He раствор.	—	-881,7	109,5	-811,4

Mn	MnC ₂ O ₄	Светло-розовые крист.	2,43	Разлаг. -2H ₂ O ¹⁰⁰	Не раствор. 0,025 ⁰	Не раствор. Сл.	61,5	-385,1	61,5	-363,3	
	MnC ₂ O ₄ · 2H ₂ O	Светло-розовые крист.	5,43	1650	Не раствор.	Не раствор.	154,8	-1387,6	154,8	-1282,9	
	MnO	Зеленый, куб.	4,70	1560	Не раствор.	Не раствор.	—	—	—	—	
	Mn ₃ O ₄	Черный тетрагон., ромб.	4,51	Разлаг. ¹⁰⁸⁰	Не раствор.	Не раствор.	—	—	—	—	
	Mn ₂ O ₃	Черный куб., тетрагон.	5,03	Разлаг. ⁵³⁵	Не раствор.	Не раствор.	53,1	-521,5	53,1	-466,7	
	MnO ₂	Черный (коричнево-черный) ромб., гексагон.	>1,80	<-20,0	Взрыв. ⁷⁰	Реаг.	—	-728,4	—	—	-543,9
	Mn ₂ O ₇	Темно-зеленая маслян. ж.	—	—	—	—	—	—	—	—	-449,4
	MnO ₄ ⁻ (p)	Раствор	3,26	Разлаг.	Не раствор.	—	—	-700,0	191,2	94,9	-618,7
	Mn(OH) ₂	Светло-розовый, тригон.	3,25	700,0	Разлаг. ⁸⁵⁰	раствор. 63 ²⁰	40,8 ⁹⁰	-1066,7	112,5	112,5	-959,0
	MnSO ₄	Светло-розовый, ромб.	2,98	650,0	1190	74 ²⁰	115 ¹⁰⁰	-481,2	118,2	118,2	-440,4
	MnCl ₂	Розовый расплыв., куб.	2,01	58,0	-H ₂ O ¹⁰⁶ -4H ₂ O ¹⁹⁸	203 ²⁰	532 ¹⁰⁰	-1687,5	311,5	311,5	-1426
	MnCl ₂ · 4H ₂ O	Крист.	11,5	2140,0	4700	—	—	0,0	33,5	33,5	0,0
	Tc	Tc	Серебр.-серый металл,	—	—	—	—	—	—	—	—
Tc (r)		—	—	—	—	—	648,5	181,0	181,0	604,5	
TcO ₄ ⁻ (p)		Раствор	—	—	—	—	-723,8	313,8	313,8	-630,2	
	Tc ₂ O ₇	Светло-желтый крист.	—	119,5	311	Раствор.	-1114,6	191,6	191,6	-937,8	

Элемент	Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	d, г/см ³	t _{тп} [*] , °C	t _{хпл} [*] , °C	Растворимость в воде [*] , г/100 г H ₂ O*		ΔH ₂₉₈ ⁰ , кДж/моль	S ₂₉₈ ⁰ , Дж/(К·моль)	Δ _f G ₂₉₈ ⁰ , кДж/моль	
						хол.	гор.				
Re	Re	Серебр. блестящий металл	20,50	3167,0	5500	—	—	0,0	36,5	0,0	
	Re (г)	—	—	—	—	—	—	776,8	787,8	731,5	
	ReO ₄ ⁻ (р)	Раствор	—	—	—	—	—	-1272,0	207,2	-1098,0	
	ReO ₂	Черный	—	—	—	He	He	-423,8	72,8	-373,2	
	ReO ₃	Куб.	6,90	160	Разлаг. ⁴⁰⁰	раствор.	раствор.	-592,9	82,8	-514,4	
	Re ₂ O ₇	Желтого-бурый пластинч.	8,20	300	360,0	В.	В.	-1272,0	207,2	-1098,0	
	ReS ₂	Черный, гексагон.	7,50	—	Разлаг.	раствор.	раствор.	-138,9	96,2	-173,6	
	Re ₂ S ₇	Черный	4,87	—	Разлаг.	раствор.	раствор.	-451,4	—	-422,6	
	ReF ₆	Светло-желтый	6,16	18,8	47,6	раствор., реаг.	Раствор., реаг.	-1382,1	270,6	-1270,5	
	ReCl ₃	Темно-красный, гексагон.	—	257	327,0	Раствор.	Раствор.	-263,3	159,0	-200,0	
	ReCl ₅	Темно-зеленые крист.	4,90	—	Разлаг.	Реаг.	Реаг.	-361,0	230,0	-252,6	
	ReBr ₃	Красно-коричн.	—	—	—	—	—	-164,4	184,1	-140,6	
	Fe	Fe	Серебр. металл, куб.	7,86	1539,0	2730,0	He	He	0,0	27,1	0,0
		Fe (г)	Газ	—	—	—	раствор.	раствор.	416,3	180,4	370,7

Элемент	Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	d, г/см ³	t _{пл} , °С	t _{змп} , °С	Растворимость в воде*, г/100 г Н ₂ O*		ΔH° ₂₉₈ , кДж/моль	S° ₂₉₈ , Дж/(К·моль)	ΔG° ₂₉₈ , кДж/моль
						хол.	гор.			
Fe	Fe ₂ (SO ₄) ₃	Желтые расплав. крист.	2,1	Разлаг.	—	Раствор.	Реаг.	-2584,0	282,8	-2253,0
	FeCl ₂	Светло-зеленые расплав. крист.	2,98	672	1012,0	62,6 ²⁰	94,2 ¹⁰⁰	-341,7	118,0	-302,3
	FeCl ₃	Красно-коричн., тригон.	2,80	304	315	74,4 ⁰	537 ¹⁰⁰	-396,2	145,6	-340,2
	FeBr ₂	Желтовато-зеленый, тригон.	4,62	684 ^(мавр)	—	108 ¹⁰	184 ¹⁰⁰	-251,4	140,0	-239,6
	FeBr ₃	Красно-коричн. крист.	—	Разлаг.	—	В. раствор.	В. раствор.	-269,0	184,0	-256,0
Co	Co	Серебр. металл, куб.	8,80	1492	2255	Не раствор.	Не раствор.	0,0	30,0	0,0
	Co (т)	—	—	—	—	—	—	424,7	179,4	380,2
	Co ²⁺ (р)	Раствор	—	—	—	—	—	-59,4	-113,0	-53,5
	Co ³⁺ (р)	Раствор	—	—	—	—	—	94,2	-285,2	129,8
	CoCO ₃	Красный, гексагон.	4,13	Разлаг.	—	Не раствор.	Не раствор.	-722,6	—	-651,0
	[Co(NH ₃) ₆] ²⁺	Раствор	—	—	—	—	—	—	—	-241,4
	[Co(NH ₃) ₆] ³⁺ Co(NO ₃) ₂	Раствор Крист.	—	—	—	—	В. раствор.	—	333,6	-221,3
Co(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	Красный расплав., монокл.	1,87	-3H ₂ O ⁵⁵	—	—	263 ⁰	В. раствор.	-430,5	192,0	-230,5
							В. раствор.	-1655,6	—	—

Co	CoO	Коричневый, куб.	5,70	Разлаг. ¹⁸⁰⁰	—	He раствор.	-239,3	43,9	-213,4	
	Co ₃ O ₄	Черный, куб.	6,07	Разлаг. ⁹⁰⁰	—	He раствор.	-879,0	102,9	-761,5	
	Co ₂ O ₃	Черно-серый, куб.	5,18	Разлаг. ⁸⁹⁵	—	He раствор.	—	—	—	
	Co(OH) ₂	Светло-красный, тригон.	3,60	Разлаг.	—	He раствор.	-541,0	82,0	-456,1	
	Co(OH) ₃	Черно-коричневый порошок	—	-1,5H ₂ O ¹⁰⁰	—	He раствор.	-730,5	83,7	-596,6	
	CoS	Черный, гексагон.	5,45	1100,0	—	He раствор.	-80,7	67,4	-82,8	
	CoSO ₄	Красный, ромб.	3,71	Разлаг. ^{>700}	—	38,5 ¹⁰⁰	-868,2	113,4	-761,2	
	CoSO ₄ · 7H ₂ O	Красный монокл.	1,95	96,8	-7H ₂ O ⁴²⁰	87 ²⁰	101,4 ¹⁰⁰	—	406,0	-2453,5
	CoCl ₂	Голубой, тригон.	3,36	724,0	1049	52,9 ²⁰	106,2 ¹⁰⁰	-325,5	106,3	-282,4
	CoCl ₂ · 6H ₂ O	Красный, монокл.	1,92	86,0	-6H ₂ O ¹¹⁰	173 ²⁰	В. раствор.	—	—	-1735,9
	CoBr ₂	Зеленый расплыв., крист.	4,91	Разлаг.	—	119 ²⁵	257 ¹⁰⁰	-223,8	135,6	-210,5
	CoI ₂	Черный, гексагон.	5,58	515,0	Разлаг. ⁵⁷⁰	197 ²⁵	420 ¹⁰⁰	-102,1	158,2	97,5
	Ni	Ni	Серебр. металл	8,90	1453,0	2140	He раствор.	0,0	29,9	0,0
Ni (r)		—	—	—	—	—	423,7	182,1	378,3	
Ni ²⁺ (p)		Раствор	—	—	—	—	-53,2	-126,1	-45,6	
[Ni(NH ₃) ₆] ²⁺		Раствор	—	—	—	—	—	356,5	-253,0	
NiO		Темно-зеленый, куб.	7,45	1950,0	—	He раствор.	-239,7	38,0	-211,6	

Элемент	Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	d , г/см ³	$t_{пл}^*$, °C	$t_{гор}^*$, °C	Растворимость в воде*, г/100 г Н ₂ O*		ΔH_f^{298} , кДж/моль	S_m^{298} , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G^{298}$, кДж/моль
						хол.	гор.			
Ni	Ni(OH) ₂	Светло-зеленый аморф., крист.	4,10	—	—	He раствор.	—	-543,5	80,0	-458,3
	Ni(OH) ₃	Черный	—	—	—	—	—	-678,2	81,6	-541,8
	*NiS	Черный тригон., гексагон.	5,30	797	—	He раствор.	Reag.	-79,0	53,0	76,9
	NiSO ₄	Желтый, ромб.	3,68	-SO ₃ ⁸⁴⁰	—	38,3 ²⁰	77 ¹⁰⁰	-873,5	103,8	-763,8
	NiSO ₄ ·7H ₂ O	Зеленый, ромб.	1,95	-H ₂ O ³¹⁵	—	101 ²⁰	375 ¹⁰⁰	-2977,4	378,9	-2463,3
	NiF ₂	Зеленый, тетрагон.	4,62	—	—	2,55 ¹⁰	2,58 ⁸⁰	-661,1	73,6	-624,2
	NiCl ₂	Желтый расплыв., крист.	3,55	Возг. ²⁹⁷³	—	59,5 ¹⁰	87,7 ¹⁰⁰	-304,2	98,07	-258,0
	NiBr ₂	Желтый расплыв., крист.	4,64	963	—	131 ²⁰	155 ¹⁰⁰	-214,0	129,0	-201,0
	NiI ₂	Черный расплыв., крист.	5,83	797	—	124 ⁰	188,2 ⁹⁰	-96,2	157,7	-89,1
	Ru	Ru	Серо-белый металл	12,10	2430	4200	He раствор.	He раствор.	0,0	28,5
Ru (r)		—	—	—	—	—	—	602,5	186,4	555,6
RuO ₂		Темно-синий, тетрагон.	6,97	Разлаг.	—	He раствор.	He раствор.	-236,4	60,7	-184,1
RuO ₄		Золотисто-желтый (коричневый) крист.	3,29	25,5	~100	2,033 ²⁰	2,249 ⁷⁴	-239,3	141,0	-150,6
Rh	Rh	Серебристо-белый металл	12,40	1960	3670	He раствор.	He раствор.	0,0	31,5	0,0

Pd	Rh (r) RhCl ₆ ³⁻ (p)	Газ Раствор	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	510,9 209,2	556,9 -662,3
	Pd	Серебристо-белый металл	12,00	1552	3110	He раствор.	He раствор.	0,0	37,7	0,0	0,0
Os	Pd (r)	Газ	—	—	—	—	—	393,3	166,9	354,8	354,8
	PdCl ₆ ²⁻ (p)	Раствор	—	—	—	—	—	-621,7	231,0	-440,9	-440,9
	PdO	Черно-зеленый, тетрагон.	8,31	Разлаг. ⁷⁵⁰	—	He раствор.	He раствор.	-115,5	38,9	-85,3	-85,3
	Os	Голубовато-серый металл, гексагон.	22,50	2700	4610	He раствор.	He раствор.	0,0	32,6	0,0	0,0
Ir	Os (r)	—	—	—	—	—	—	669,4	191,6	621,8	621,8
	OsO ₂	Красно-коричневый крист.	7,91	Разлаг. ⁶⁵⁰	—	He раствор.	He раствор.	-259,4	—	-209,2	-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	-302,5
	Ir	Серебристо-белый металл	22,40	2441	4180	He раствор.	He раствор.	0,0	35,5	0,0	0,0
Pt	Ir (r)	—	—	—	—	—	—	627,6	178,4	580,8	580,8
	IrO ₂	Черный, тетрагон.	3,15	Разлаг.	—	He раствор.	He раствор.	-243,0	59,0	-188,4	-188,4
	IrS ₂	Коричневый	—	Разлаг. ³⁰⁰	—	He раствор.	He раствор.	-125,6	105,5	—	—
	IrCl ₃	Темно-зеленый	5,30	Разлаг. ⁷⁶³	—	He раствор.	He раствор.	-242,7	150,6	-198,7	-198,7
Pt	IrCl ₆ (r)	Газ	—	—	—	—	—	-544,0	357,7	-458,7	-458,7
	Pt	Серебристо-серый металл	21,40	1769	3710	He раствор.	He раствор.	0,0	41,5	0,0	0,0

Элемент	Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	d, г/см ³	t _{пл} , °С	t _{крит} , °С	Растворимость в воде*, г/100 г Н ₂ O*		ΔH _р ²⁹⁸ , кДж/моль	S ²⁹⁸ , Дж/(К·моль)	ΔG ²⁹⁸ , кДж/моль
						хол.	гор.			
Pt	Pt (г)	—	—	—	—	—	564,0	192,3	519,1	
	PtO ₂	Сине-черный порошок	10,2	—	—	Не раствор.	-134,0	69,1	-84,0	
	PtCl ₄ ²⁻ (р)	Раствор	—	—	—	—	-501,2	155,0	-363,0	
	PtCl ₆ ²⁻ (р)	Раствор	—	—	—	—	-669,9	223,6	-485,6	
	PtCl ₄	Коричневый порошок	—	Разлаг. ³⁷⁰	—	66,6 ⁰	-229,3	267,9	-163,8	
	PtBr ₄	Темно-коричневый	5,69	Разлаг. ¹⁸⁰	—	0,41 ²⁰	-159,0	163,5	-105,0	
Cu	PtI ₄	Буро-черный аморф.	6,06	Разлаг. ³⁷⁰	—	Не раствор.	-59,4	281,0	-97,9	
	Cu	Красный металл, куб.	8,92	1083	2580	Не раствор.	0,0	33,1	0,0	
	Cu (г)	Газ	—	—	—	—	339,3	166,3	299,7	
	Cu ⁺	Раствор	—	—	—	—	71,5	39,3	50,2	
	Cu ²⁺	Раствор	—	—	—	—	67,0	-92,8	65,6	
	CuCl ₂ ⁻	Раствор	—	—	—	—	-277,6	210,9	-244,6	
	[Cu(NH ₃) ₂] ⁺	Раствор	—	—	—	—	—	117,7	-30,5	
	[Cu(NH ₃) ₄] ²⁺	Раствор	—	—	—	—	—	280,5	-111,5	
	Cu(OH) ₄ ²⁻	Раствор	—	—	—	—	-894,3	43,3	-658,2	
	CuCO ₃	Крист.	—	—	—	—	-595,4	88,0	-518,3	

Cu	$(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$	Малахит, синий, монокл.	3,88	Разлаг. ²²⁰	—	He раствор.	-1051,0	211,6	-900,9
	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$	Крист.	—	—	—	He В. раствор.	-305,2	192,5	-117,1
	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Синий расплыв. крист.	2,04	114,5	—	396 ⁴⁰	—	—	—
	Cu_2O	Красный, куб.	6,00	1229,0	$-\frac{1}{2}\text{O}_2$ ¹⁸⁰⁰	He раствор.	-173,2	92,9	-150,5
	CuO	Черный, куб.	6,40	Разлаг. ¹⁰²⁶	—	He раствор.	-162,0	42,6	-129,4
	$\text{Cu}(\text{OH})_2$	Синий студ. или аморф.	3,37	Разлаг.	—	He раствор.	444,3	84,0	-359,4
	CuS	Черный, крист.	4,60	Разлаг. ²²⁰	—	He раствор.	-53,1	66,5	-53,6
	CuSO_4	Зелено-белый, ромб.	3,60	200,0	Разлаг. ⁶⁵⁰	20,2 ²⁰	-770,9	109,0	-661,8
	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Синий, триклин.	2,28	$-\text{4H}_2\text{O}$ ¹¹⁰	$-\text{4H}_2\text{O}$ ¹⁵⁰	35,6 ²⁰	-2279,4	300,0	-1879,9
	CuF_2	Расплыв. крист.	—	—	—	Сл. раствор.	-537,6	68,6	-487,8
	$\text{CuF}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Синий, монокл.	2,93	—	—	Сл. раствор.	—	—	—
	CuCl	Белый, куб.	3,53	430,0	1490	He раствор.	-137,3	87,0	-120,1
	CuCl_2	Коричнево-желтый, монокл.	3,05	630,0	Разлаг. ⁹⁹³	77,4 ²⁵	-215,6	108,1	-171,4
	$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Зеленый расплыв., крист.	2,38	$-\text{2H}_2\text{O}$ ¹¹⁰	—	124 ²⁵	-818,6	190,6	-660,1
	CuBr	Белый, куб.	4,72	488,0	1345	He раствор.	-103,5	96,1	-99,6

Элемент	Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	d, г/см ³	t _{пл.} , °С	t _{пл.} , °С	t _{кип.} , °С	Растворимость в воде*, г/100 г Н ₂ O*		ΔH ⁰ ₂₉₈ , кДж/моль	S ⁰ ₂₉₈ , Дж/(К·моль)	ΔG ⁰ ₂₉₈ , кДж/моль
							хол.	гор.			
Cu	CuBr ₂	Черный расплывч., монокл.	4,71	498,0	900	107,5 ⁰	В. раствор.	-143,0	146,0	-131,1	
	CuI	Белый, куб.	5,62	588,0	1290	He раствор.	—	-68,0	96,7	-69,7	
Ag	Ag	Белый металл, куб.	10,50	960,8	2163	He раствор.	He раствор.	0,0	42,5	0,0	
	Ag (r)	—	—	—	—	—	—	284,9	172,9	246,1	
	Ag ⁺ (p)	Раствор	—	—	—	—	—	105,6	720,8	77,1	
	Ag(CN) ₂ ⁻	Раствор	—	—	—	—	—	—	201,3	-301,7	
	Ag(NH ₃) ₂ ⁺	Раствор	—	—	—	—	—	—	246,3	-17,6	
	AgCN	Белый	3,95	320 разлаг.	—	He раствор.	—	145,9	107,2	156,9	
	AgNO ₃	Бесцвет.	4,35	212,0	Разлаг. ⁴⁴⁴	0,155 ⁰	1,363 ⁶⁰	-124,5	140,9	-33,6	
	Ag ₂ O	Коричнево-черный, куб.	7,14	Разлаг. ³⁰⁰	—	He раствор.	He раствор.	-31,1	121,0	-11,3	
	Ag ₂ S	Черный, куб.	7,32	825,0	Разлаг.	He раствор.	—	-32,8	144,0	-40,8	
	Ag ₂ SO ₄	Белый, ромб.	5,45	652,0	Разлаг. ¹⁰⁸⁵	0,57 ⁰	1,41 ¹⁰⁰	-717,2	199,8	-619,6	
Ag ₂ CrO ₄	Красный, монокл.	5,62	—	—	0,0014 ⁰	0,008 ⁷⁰	-721,3	217,6	-635,1		
	Желтый расплывч., куб.	5,85	435,0	—	182 ^{15,5}	205 ¹⁰⁸	-206,0	83,7	-187,9		
	Белый, куб.	5,56	455,0	1559	He раствор.	He раствор.	-127,1	96,1	-109,1		

Ag	AgBr	Светло-желтый, куб.	6,47	430	Разлаг. ⁷⁰⁰	He раствор. $\sim 3 \cdot 10^{-7}$	He раствор. $3 \cdot 10^{-6}$	-100,7	107,1	-97,2
	AgI	Желтый, гексагон.	5,67	Разлаг. ⁵⁵²	—	—	—	-61,9	115,5	-66,4
Au	Au	Желтый металл, куб.	19,30	1063	2710	He раствор.	He раствор.	0,0	47,4	0,0
	Au (r)	Газ	—	—	—	—	—	395,2	180,4	325,6
	Au(CN) ₂ ⁻ (p)	Раствор	—	—	—	—	—	—	123,4	369,4
	AuCl ₄ ⁻ (p)	Раствор	—	—	—	—	—	-322,4	268,4	-235,8
	AuBr ₄ ⁻ (p)	Раствор	—	—	—	—	—	—	313,8	-159,4
	Au ₂ O ₃	Черно-бурый порошок	—	-O ₂ ¹⁶⁰	—	He раствор.	He раствор.	-13,0	134,3	78,7
	Au(OH) ₃	Черно-бурый порошок	—	-1,5H ₂ O ²⁵⁰	—	He раствор.	—	-477,8	121,0	-349,8
	AuF ₃	Крист.	—	—	—	—	—	-348,5	114,2	-297,5
	AuCl	Желтый крист.	7,40	—	Разлаг. ^{289,5}	Реаг.	Реаг.	-36,4	85,2	-14,6
	AuCl ₃	Красный расплыв. крист.	3,90	288 ^{двал.} Cl ₂	Возг. ²⁶⁵	68	В. раствор.	-118,4	164,4	-53,6
	AuBr ₃	Темно-коричневый крист.	—	-Br ₂ ¹¹⁵	—	Сл. раствор.	—	-53,5	155,0	-24,7
Zn	Zn	Голубовато-белый металл	7,14	419	913	He раствор.	He раствор.	0,0	41,6	0,0
	Zn (r)	Газ	—	—	—	—	—	130,7	160,9	95,2
	Zn ²⁺ (p)	Раствор	—	—	—	—	—	-153,7	-110,7	-147,3
	[Zn(NH ₃) ₄] ²⁺	Раствор	—	—	—	—	—	-67,7	—	-53,6
	ZnCO ₃	Бесцвет., тригон.	4,44	-CO ₂ ³⁰⁰	—	0,001 ¹⁵	—	-810,7	92,5	-732,5
	Zn(NO ₃) ₂	Крист.	—	—	—	В. раствор.	В. раствор.	-514,6	193,7	-298,8

Элемент	Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	d , г/см ³	$t_{пл}^*$, °C	$t_{зап}^*$, °C	Растворимость в воде*, г/100 г H ₂ O*		ΔH_f^{298} , кДж/моль	S^{298} , Дж/(К·моль)	ΔG^{298} , кДж/моль
						хол.	гор.			
Zn	Zn(NO ₃) ₂ ·2H ₂ O	Крист.	—	—	—	В. раствор.	В. раствор.	-1111,1	258,2	-795,9
	Zn(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	Бесцвет., тетрагон.	2,06	36,1	-6H ₂ O ¹⁰⁵	В. раствор.	В. раствор.	-2306,8	462,3	-1174,9
	ZnO	Белый, гексагон.	5,61	Возг. ¹⁸⁰⁰	—	Не раствор.	—	-350,6	43,6	-320,7
	Zn(OH) ₂	Бесцвет. ромб. или тригон.	3,05	Разлаг. ¹²⁵	—	В. сл. раствор.	Сл. раствор.	-645,4	77,0	-555,9
	ZnS	Бесцвет., гексагон. (вюрцит)	4,09	1850,0 ^{150квм}	Возг. ¹¹⁸⁵	Не раствор.	—	-205,4	57,7	-200,7
	ZnSO ₄	Бесцвет., ромб.	3,74	Разлаг. ⁷⁴⁰	—	53,8 ²⁰	60,6 ¹⁰⁰	—	—	—
	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	872,0	1500	Сл. раствор.	Раствор.	-764,4	73,7	-713,5
	ZnCl ₂	Бесцвет., тригон.	2,91	315,0	733	375 ²⁰	615 ¹⁰⁰	-415,0	111,5	-369,4
	ZnBr ₂	Бесцвет., ромб.	4,22	392,0	702	447 ²⁰	672 ¹⁰⁰	-329,7	136,0	-312,4
	ZnI ₂	Белый распылч. крист.	4,67	446,0	730	430 ⁰	510 ¹⁰⁰	-208,2	161,5	-209,3
	Cd	Cd	Серебристо-белый металл	8,64	321,0	767	Не раствор.	He раствор.	0,0	51,8
Cd (г)		—	—	—	—	—	—	111,9	167,6	77,4

Элемент	Вещество	Цвет, агрегатное состояние или кристаллическая форма	d, г/см ³	t _{пл} [*] , °C	t _{крит} [*] , °C	Растворимость в воде [*] , г/100 г Н ₂ O*		ΔH ^o ₂₉₈ ^o , кДж/моль	S ^o ₂₉₈ ^o , Дж/(К·моль)	ΔG ^o ₂₉₈ ^o , кДж/моль
						хол.	гор.			
Hg	HgO	Желтый (красный), ромб.	11,10	Разлаг. ⁵⁰⁰	—	—	0,041 ¹⁰⁰	-90,9	70,3	-58,4
	HgS	Киноварь, оранжевый, тригон.	8,10	Возг.	—	—	—	-59,0	82,0	-51,4
	HgS	Черный, куб.; аморф. порошок	7,73	Возг.	—	—	—	-59,0	82,0	-51,4
	Hg ₂ SO ₄	Бесцвет. крист.	7,56	Разлаг.	—	—	0,09 ¹⁰⁰	-744,6	200,7	-627,4
	HgSO ₄	Бесцвет. крист.	6,47	Разлаг.	—	—	Реаг.	-707,9	136,4	-590,0
	Hg ₂ Cl ₂	Белый, тетрагон.	7,15	Возг. ⁻⁴⁰⁰	—	—	0,001 ⁴⁵	-265,1	192,7	-210,8
	HgCl ₂	Бесцвет., ромб.	5,44	277	302	—	6,59 ²⁰	-228,2	140,0	-180,9
	Hg ₂ Br ₂	Желтовато-белый крист.	7,31	Возг. ⁻⁴⁰⁰	—	—	—	-207,1	217,7	-181,3
	HgBr ₂	Бесцвет., ромб.	6,11	236	320	—	0,61 ²⁵	-169,9	179,8	-155,5
	HgI ₂	Красный, тетрагон.	6,28	250	354	—	—	-105,4	184,0	-103,0

Примечание. В надстроочных индексах указана температура, °C. Аморф. — аморфный; бесцвет. — бесцветный; в. — весьма; взрыв. — взрывающийся; возг. — возгорающий; гексагон. — гексагональный; тигр. — гирокоспичный; ж. — жидкий; исп. — испаряющийся; крист. — кристаллы; куб. — кубический; маслян. — масляный; монокл. — моноклинный; пластинч. — пластинчатый; порист. — пористый; разлаг. — разлагается; расплав. — расплавляющийся; раствор. — растворяется; реаг. — реагирует; ромб. — ромбический; самовоспл. — самовоспламеняющийся; серебр. — серебряный; сл. — слабо; студ. — студенистый; тетрагон. — тетрагональный; тригон. — тригональный; триклин. — триклинный; фаз. — фазовый.

Стандартные окислительные потенциалы (E°) по отношению к потенциалу стандартного водородного электрода (при 25 °C)

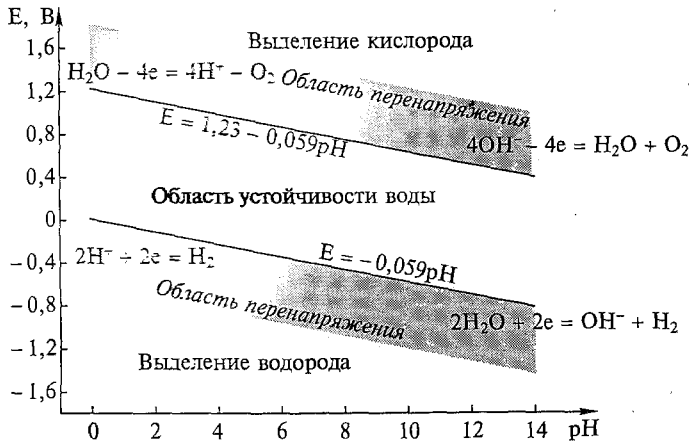
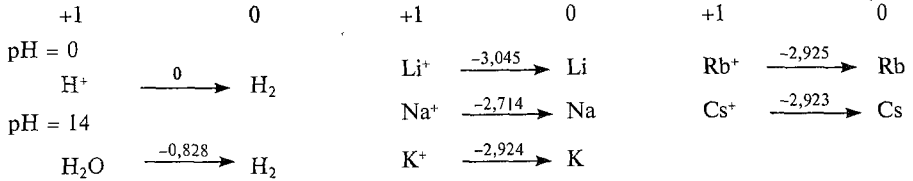


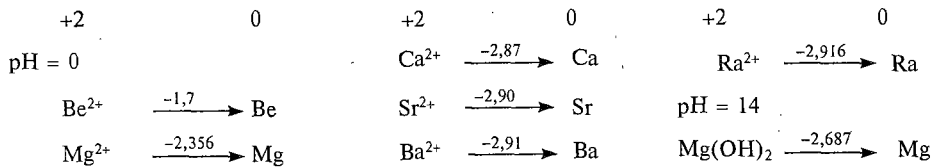
Рис. ПЗ.1. Область электрохимической устойчивости воды

s-элементы

Группа 1

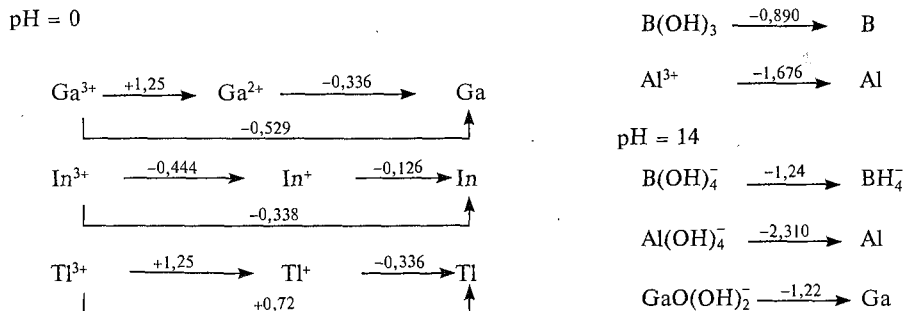


Группа 2



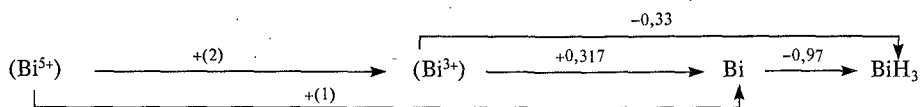
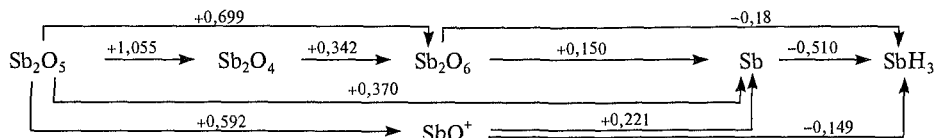
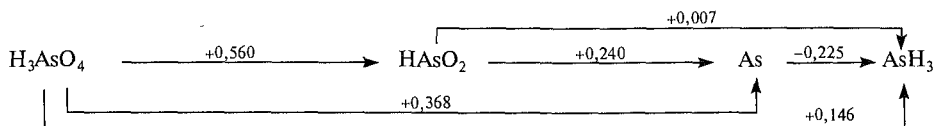
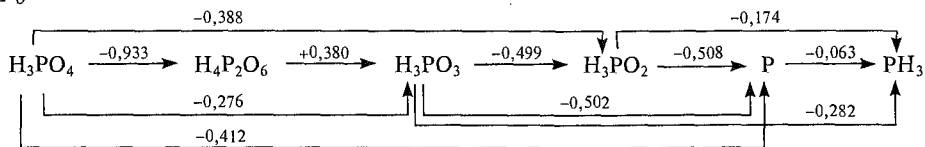
p-элементы

Группа 13



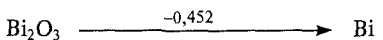
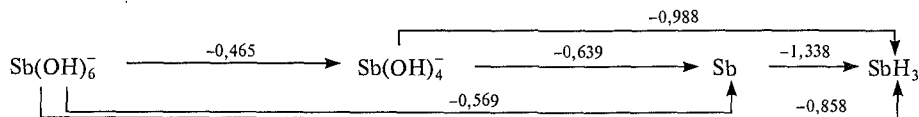
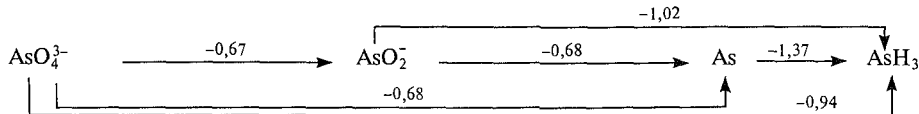
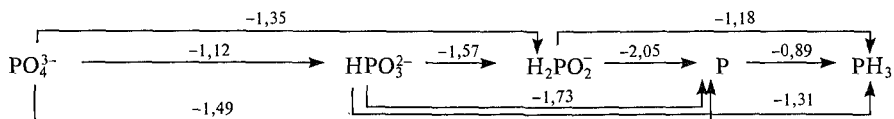
+5 +4 +3 +1 0 -3

pH = 0



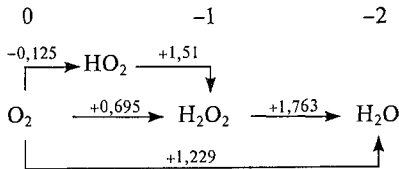
+5 +4 +3 +1 0 -3

pH = 14

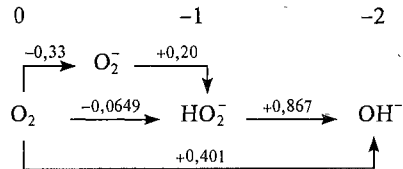


Група 16

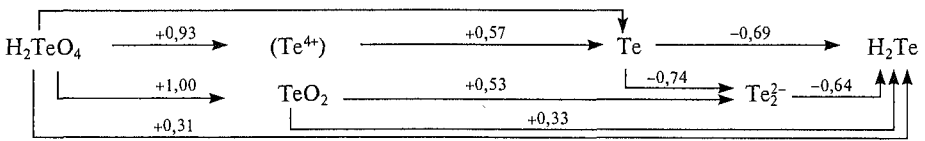
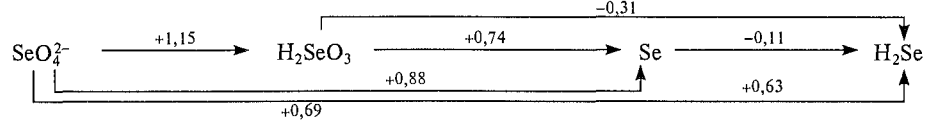
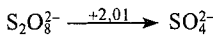
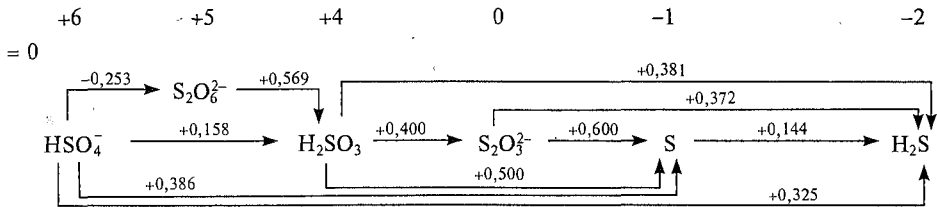
pH = 0



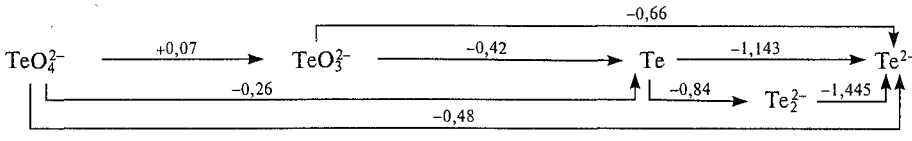
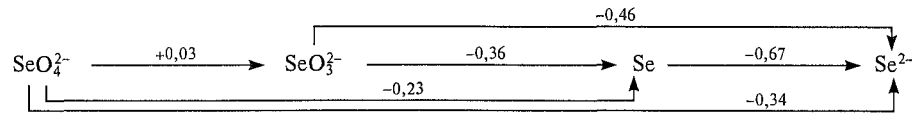
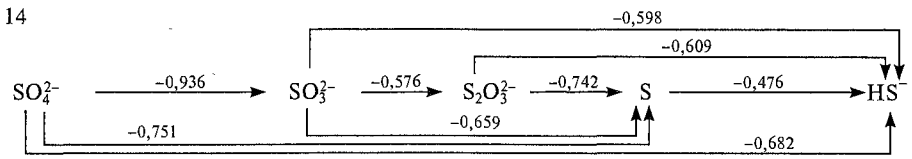
pH = 14



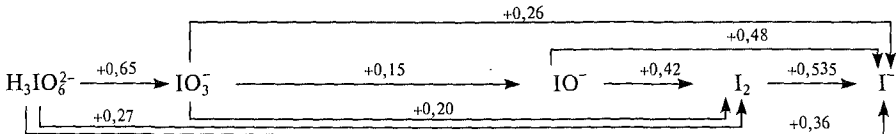
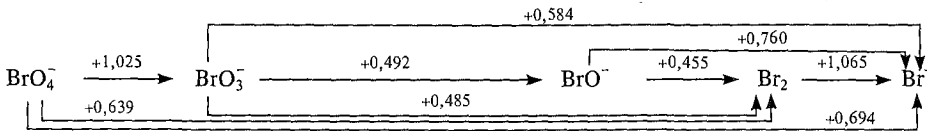
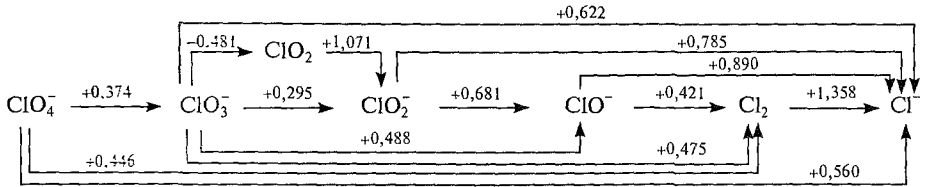
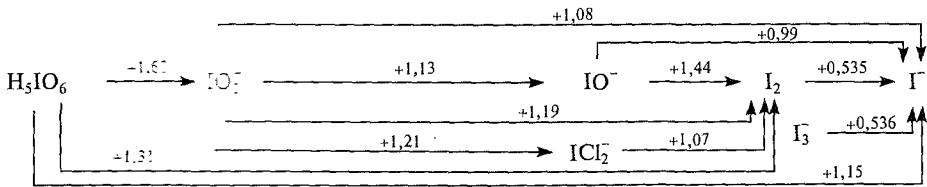
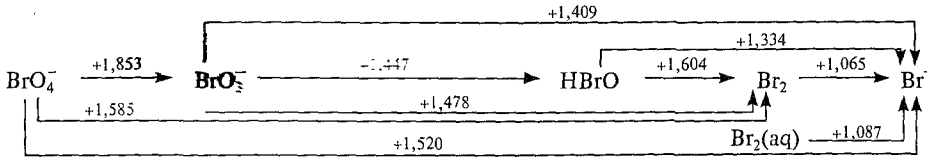
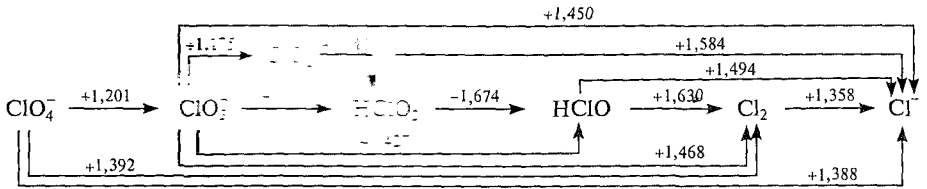
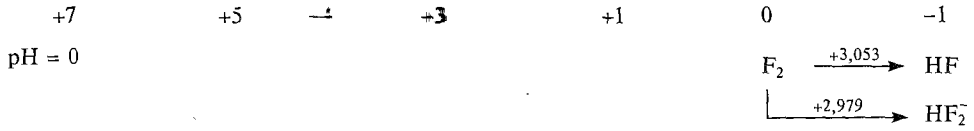
pH = 0



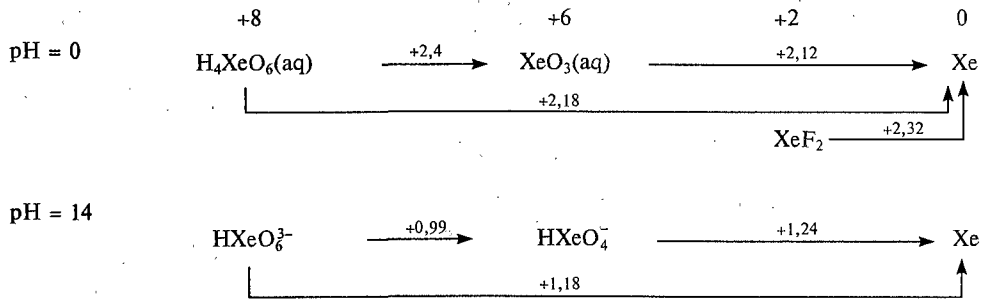
pH = 14



Група 17

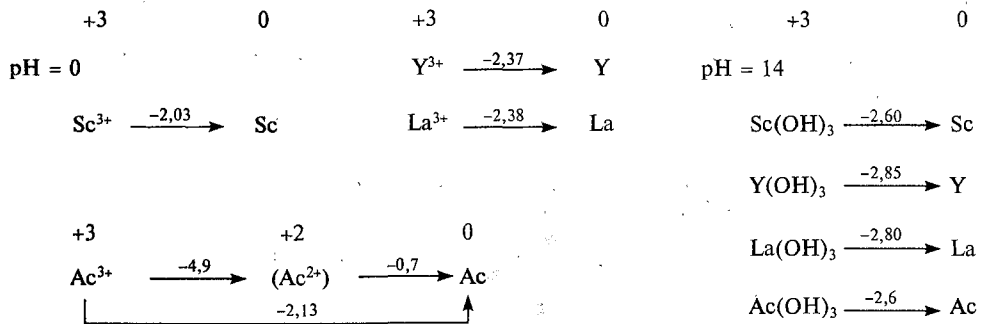


Группа 18

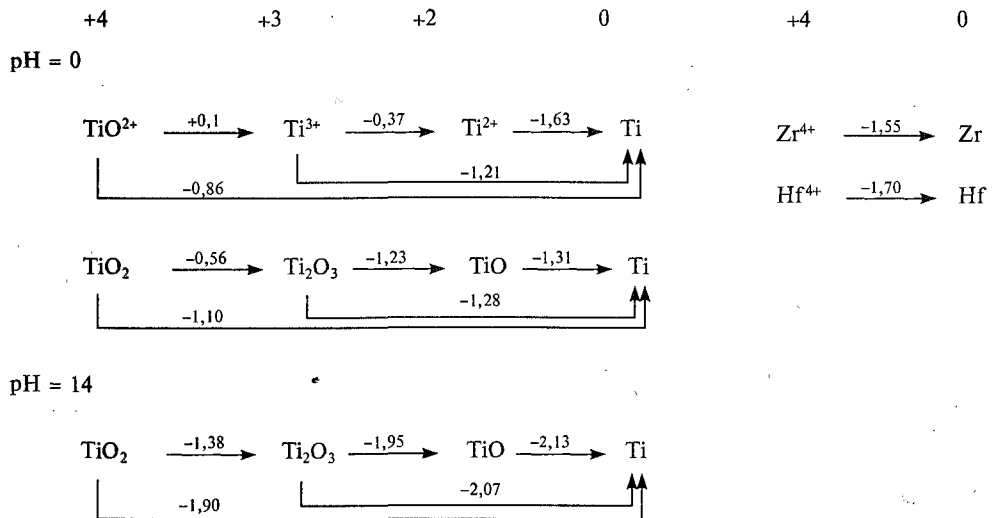


d-элементы

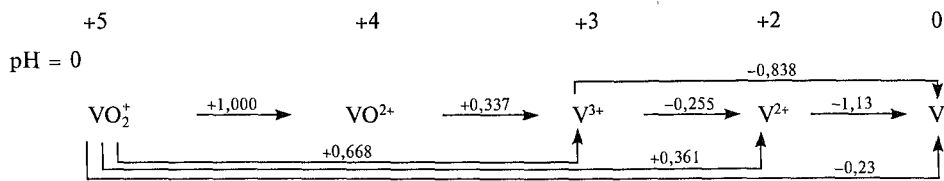
Группа 3

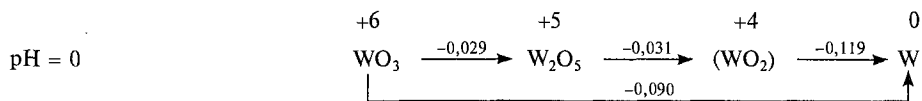
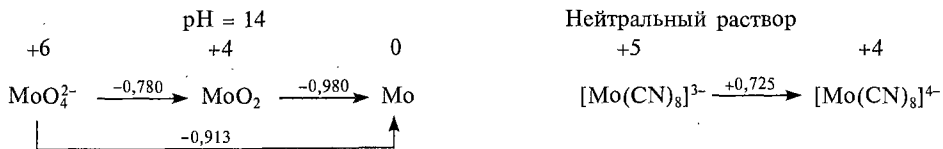
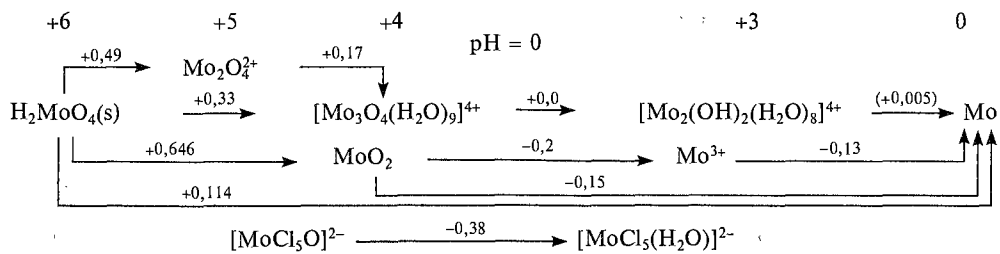


Группа 4

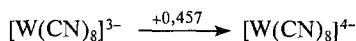


Группа 5

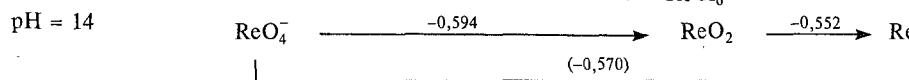
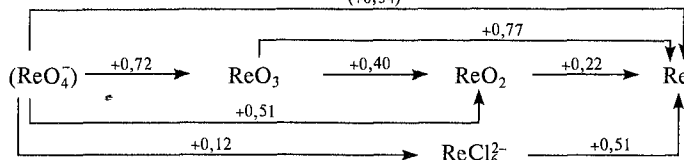
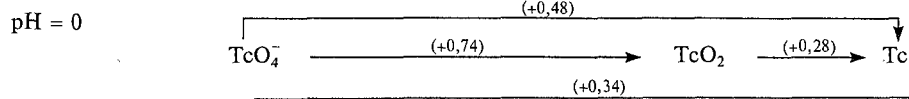
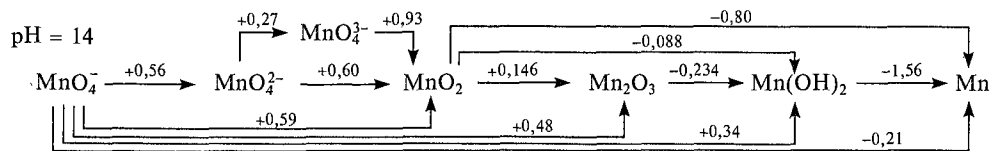
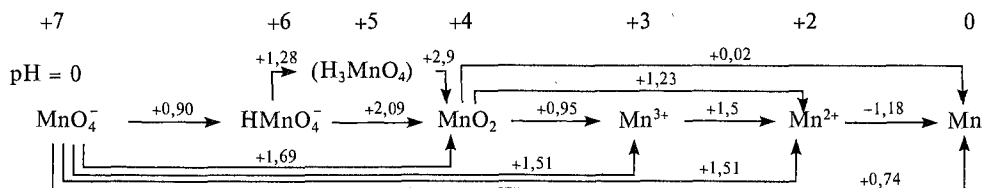




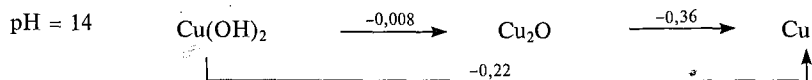
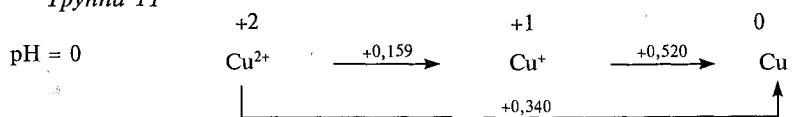
Нейтральный раствор



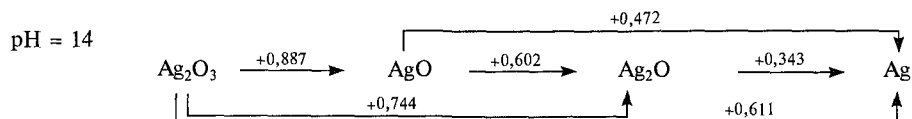
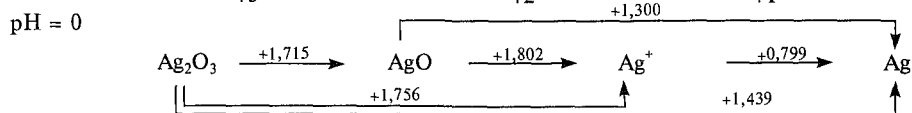
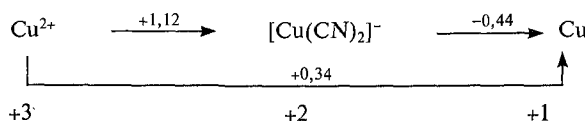
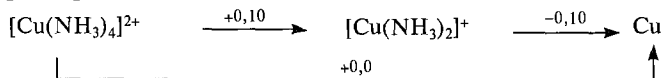
Группа 7



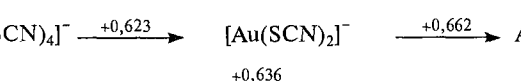
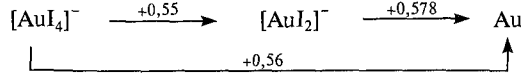
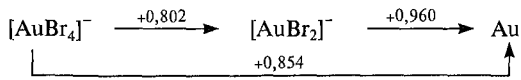
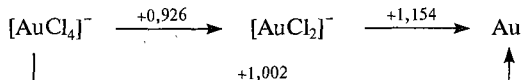
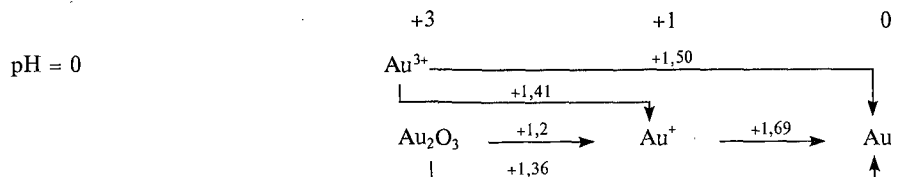
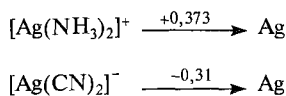
Группа 11



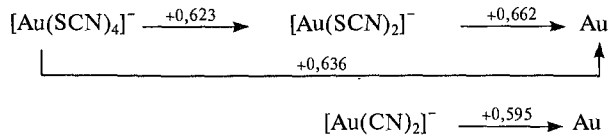
Нейтральный раствор



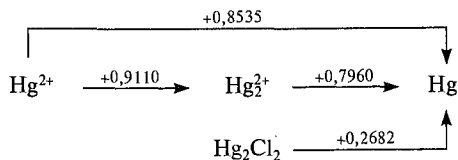
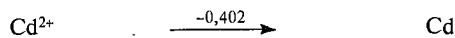
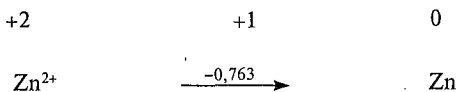
Нейтральный раствор



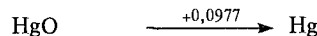
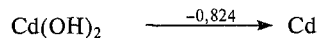
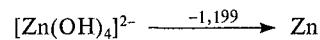
Нейтральный раствор



pH = 0



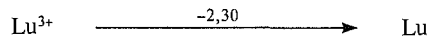
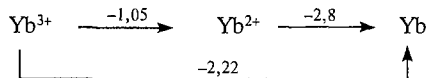
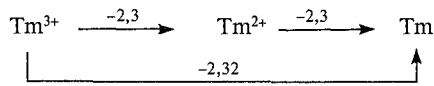
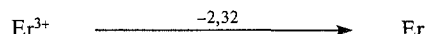
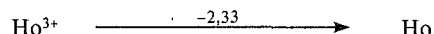
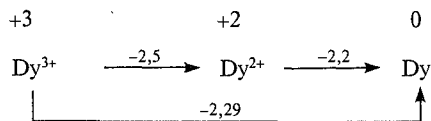
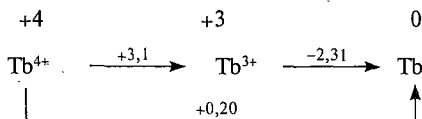
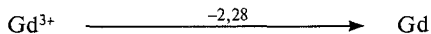
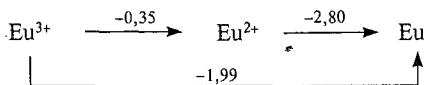
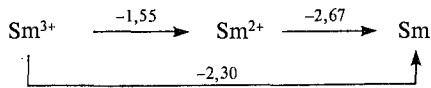
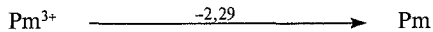
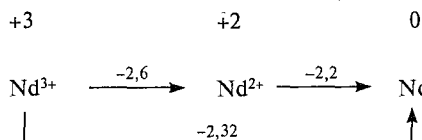
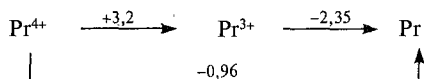
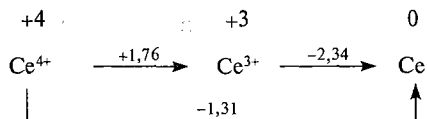
pH = 14



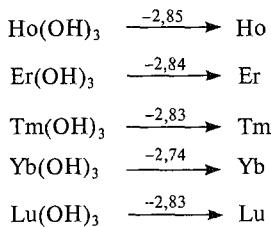
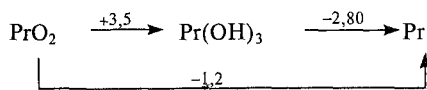
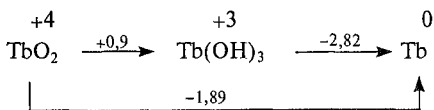
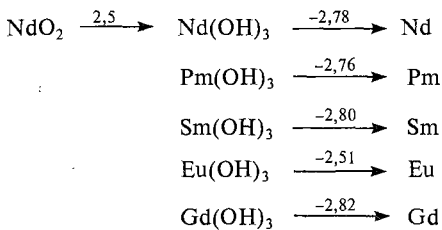
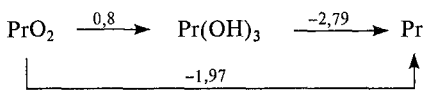
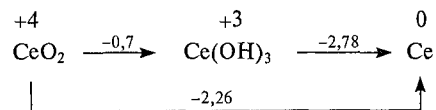
f-элементы

Лантаниды

pH = 0



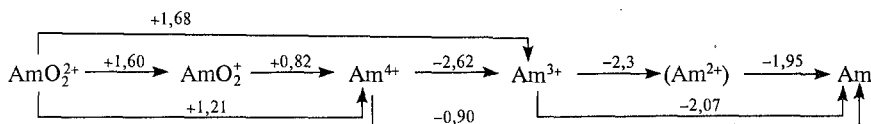
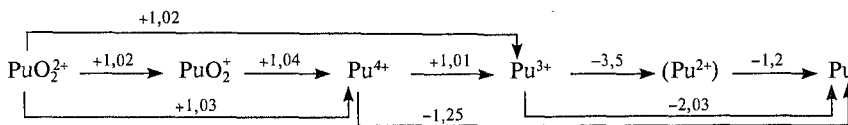
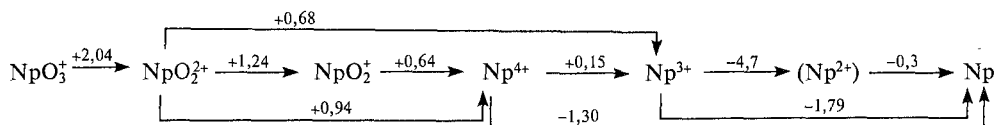
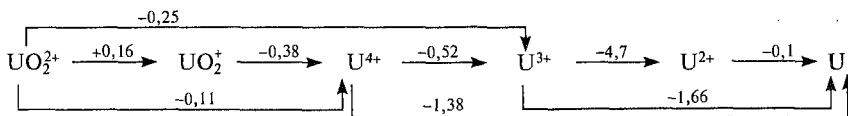
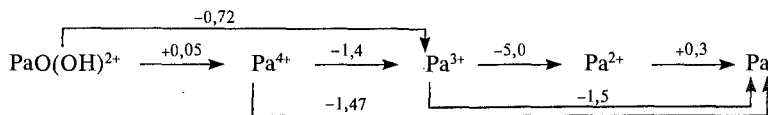
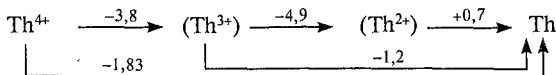
pH = 14



Актиниды

+7 +6 +5 +4 +3 +2 0

pH = 0



+7

+6

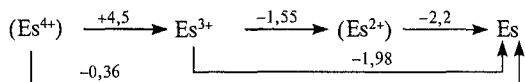
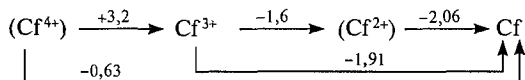
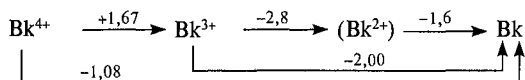
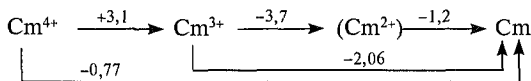
+5

+4

+3

+2

0



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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. Коттон Ф., Уилкинсон Дж. Современная неорганическая химия: В 3 т. — М.: Мир, 1969.
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. Потапов В. М., Кочетова Э. К. Химическая информация: что, где и как искать химику в литературе. — М.: Химия, 1978.
8. Практикум по неорганической химии / Под ред. В. П. Зломанова. — М.: Изд-во МГУ, 1994.
9. Практикум по физической химии / Под ред. Н. К. Воробьева. — М.: Химия, 1975.
10. Руководство по неорганическому синтезу: В 6 т. / Под ред. Г. М. Брауэра. — М.: Мир, 1985—1986.
11. Спицын В. И., Мартыненко Л. И. Неорганическая химия: В 2 т. — М.: Изд-во МГУ, 1994—1996.
12. Справочник химика. — 2-е изд. — М.; Л.: ГХИ, 1963.
13. Термические константы веществ: Вып. 1—10 / Под ред. В. П. Глушко. — М.: Наука, 1966—1982.
14. Химическая энциклопедия: В 5 т. — М.: БРЭ, 1988—1998.
15. Эмсли Дж. Элементы. — М.: Мир, 1993.
16. Shriver D. F., Atkins P. W., Langford C. H. Inorganic Chemistry. — 2nd Ed. — Oxford: Oxford University press, 1994.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
-------------------	---

РАЗДЕЛ I. ТЕХНИКА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Глава 1. Основные приемы работы в химической лаборатории	5
1.1. Подготовка к проведению химического эксперимента	5
1.2. Правила безопасности при работе в лаборатории	6
1.3. Оказание первой медицинской помощи	7
1.4. Оформление рабочего журнала	8
Глава 2. Химическая посуда, реактивы, нагревательные приборы	11
2.1. Химическая посуда	11
2.2. Химические реактивы и правила работы с ними	18
2.3. Нагревательные приборы	20
Глава 3. Проведение химического эксперимента	24
3.1. Взвешивание	24
3.2. Измерение объема жидкости	25
3.3. Приготовление растворов	25
3.4. Получение, хранение и очистка газов	27
3.5. Сборка приборов	37
3.6. Приемы нагревания и охлаждения	43
Глава 4. Выделение и идентификация продуктов реакции	45
4.1. Подготовка к фильтрованию	45
4.2. Типы фильтров	46
4.3. Фильтрование через химическую воронку	47
4.4. Фильтрование под уменьшенным давлением	48
4.5. Центрифугирование и отделение студенистых осадков	52
4.6. Высушивание твердых веществ	52
4.7. Работа с неустойчивыми на воздухе веществами	52
4.8. Идентификация неорганических соединений	53

РАЗДЕЛ II. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ

Глава 5. Очистка веществ	56
5.1. Очистка твердых веществ	56
5.2. Очистка воды от растворенных в ней солей методом перегонки	58
5.3. Очистка и разделение жидкостей методом фракционной перегонки	60
Глава 6. Определение химических эквивалентов	62
6.1. Определение химических эквивалентов металлов с использованием эвдиометра	62
6.2. Приготовление растворов кислот и определение их химических эквивалентов методом титрования щелочью	64
Глава 7. Тепловые эффекты химических реакций. Химическое равновесие. Растворы	66
7.1. Тепловые эффекты химических реакций	66

7.2. Химическое равновесие	68
7.3. Растворы	69
Глава 8. Электролитическая диссоциация	71
8.1. Электропроводность растворов	71
8.2. Зависимость рН растворов кислот и оснований от концентрации и температуры	71
8.3. Сравнение силы кислот и оснований	74
8.4. Произведение растворимости	75
8.5. Электрохимический потенциал пары металл — гидратированный ион	75
Глава 9. Скорость химических реакций	77
9.1. Скорость гомогенных химических реакций	77
9.2. Влияние катализатора на скорость химической реакции	79

РАЗДЕЛ III. ХИМИЯ ЭЛЕМЕНТОВ

Глава 10. Водород	81
10.1. Проверка водорода на чистоту	81
10.2. Получение водорода	82
10.3. Восстановление водородом оксидов металлов	83
Глава 11. Галогены	84
11.1. Получение галогенов	85
11.2. Свойства хлора	89
11.3. Свойства брома	90
11.4. Свойства иода	91
11.5. Галогениды металлов	92
11.6. Галогениды водорода	93
11.7. Белильная (хлорная) известь	97
11.8. Синтезы по теме «Галогены»	97
Глава 12. Кислород	104
12.1. Получение кислорода	104
12.2. Свойства кислорода	104
12.3. Хемолюминесценция (синглетный кислород)	105
12.4. Пероксид водорода	105
Глава 13. Сера	106
13.1. Получение модификаций серы и исследование их свойств	106
13.2. Сероводород	106
13.3. Сульфиды металлов	107
13.4. Оксид серы(IV)	110
13.5. Серная кислота и ее соли	112
13.6. Тиосульфат натрия	114
13.7. Синтезы по теме «Сера, селен, теллур»	114
Глава 14. Азот	118
14.1. Аммиак	118
14.2. Соли аммония	119
14.3. Свойства гидразина и гидроксилamina	120
14.4. Оксиды азота	120
14.5. Получение и свойства азотистой кислоты	124
14.6. Азотная кислота и ее соли	124
14.7. Синтезы по теме «Азот»	127
Глава 15. Фосфор	130
15.1. Фосфор и его свойства	130
15.2. Фосфористый ангидрид и фосфористая кислота	131
15.3. Фосфорный ангидрид	132

Глава 24. Титан	170
24.1. Свойства титана	170
24.2. Соединения титана(IV)	170
24.3. Соединения титана(III)	171
24.4. Синтезы по теме «Титан»	171
Глава 25. Ванадий	172
25.1. Свойства ванадия	172
25.2. Соединения ванадия(V)	172
25.3. Соединения ванадия низших степеней окисления	173
25.4. Синтезы по теме «Ванадий»	174
Глава 26. Хром, молибден, вольфрам	174
26.1. Свойства хрома	174
26.2. Соединения хрома(II)	175
26.3. Соединения хрома(III)	176
26.4. Соединения хрома(VI)	177
26.5. Молибден, вольфрам	178
26.6. Синтезы по теме «Хром, молибден, вольфрам»	179
Глава 27. Марганец	186
27.1. Свойства металлического марганца	186
27.2. Соединения марганца(II)	186
27.3. Соединения марганца(III)	187
27.4. Соединения марганца(IV)	187
27.5. Соединения марганца(V)	187
27.6. Соединения марганца(VI)	187
27.7. Свойства перманганата калия	188
27.8. Синтезы по теме «Марганец»	188
Глава 28. Железо, кобальт, никель	190
28.1. Свойства железа, кобальта и никеля	190
28.2. Гидроксиды железа, кобальта и никеля	191
28.3. Соли железа	192
28.4. Соединения кобальта	194
28.5. Соединения никеля	194
28.6. Комплексные соединения железа, кобальта и никеля	195
28.7. Синтезы по теме «Железо, кобальт, никель»	195
Глава 29. Медь, серебро	201
29.1. Получение и свойства меди	201
29.2. Соединения меди(I)	201
29.3. Соединения меди(II)	202
29.4. Получение и свойства серебра	203
29.5. Соединения серебра	203
29.6. Серебрение	204
29.7. Синтезы по теме «Медь, серебро»	205
Глава 30. Цинк, кадмий, ртуть	207
30.1. Соединения цинка и кадмия	207
30.2. Соединения ртути	208
30.3. Синтезы по теме «Цинк, кадмий»	209

РАЗДЕЛ IV. ОПЫТЫ И СИНТЕЗЫ ПОВЫШЕННОЙ СЛОЖНОСТИ

Глава 31. Физико-химические основы неорганической химии	211
31.1. Фазовая диаграмма системы «вода—нитрат калия»	211
31.2. Гидролиз солей алюминия	212

31.3. Кинетика каталитического окисления тиосульфата натрия пероксидом водорода	213
31.4. Иодометрическое титрование	216
Глава 32. Методы очистки веществ	216
32.1. Разделение и очистка неорганических соединений методом ионообменной хроматографии	216
32.2. Получение и очистка иода	218
32.3. Очистка твердых веществ возгонкой (испарением) в токе газа	220
32.4. Очистка трииодида сурьмы и тетраиодида олова возгонкой (сублимацией) в вакууме	222
Глава 33. Галогены	222
33.1. Получение хлорида кобальта(II) хлорированием металла	222
33.2. Хлорид хрома(III)	223
33.3. Получение безводного хлорида марганца (кобальта, никеля) в среде абсолютного спирта	224
33.4. Трихлорид иода	226
33.5. Гипохлорит кальция	227
33.6. Хлорат калия	229
Глава 34. Сера, селен, теллур	230
34.1. Хлорид тионила	230
34.2. Хлорид сульфурила	231
34.3. Гидросульфид натрия	232
34.4. Пероксодисульфат калия	234
34.5. Серный ангидрид	235
34.6. Оксиды селена(IV) и теллура(IV)	236
Глава 35. Азот	237
35.1. Гидросульфат гидразиния	237
35.2. Гидразин	238
35.3. Хлорид гидроксиламмония	240
35.4. Нитрозилсерная кислота (гидросульфат нитрозония)	241
Глава 36. Фосфор	242
36.1. Получение трихлорида фосфора из пентахлорида	242
36.2. Трибромид фосфора	243
36.3. Оксотрихлорид фосфора	244
36.4. Тиотрихлорид фосфора	245
36.5. Фосфорноватистая кислота	246
Глава 37. Сурьма, висмут	247
37.1. Трииодид сурьмы	247
Глава 38. Углерод, кремний	248
38.1. Хлороформ	248
38.2. Силикохлороформ	249
38.3. Тетрахлорид кремния	250
Глава 39. Олово, свинец	251
39.1. Тетраиодид олова	251
39.2. Тетраацетат свинца	252
39.3. Гексахлороплюмбат аммония	253
Глава 40. Бор	254
40.1. Трибромид бора	254
40.2. Аммиакат трифторида бора	255
Глава 41. Щелочные и щелочноземельные элементы	256
41.1. Получение цезия (рубидия)	256

41.2. Гидрид лития (гидрид кальция)	257
41.3. Пероксид лития	258
41.4. Получение безводного сульфида натрия из сульфата	259
41.5. Нитрид магния	260
Глава 42. Алюминий, титан, ванадий	261
42.1. Трибромид алюминия (тетрабромид титана)	261
42.2. Получение хлорида алюминия в кипящем слое	262
42.3. Тетрахлорид титана (ванадия)	263
42.4. Оксотрихлорид ванадия	264
42.5. Оксодихлорид ванадия	265
42.6. Синтез безводного нитрата диоксованадия	265
42.7. Двойная соль сульфата калия и оксованадия(IV)	266
42.8. Гексафторованадат(III) аммония	267
Глава 43. Хром	269
43.1. Ацетат хрома(II)	269
43.2. Получение трихлорида хрома из оксида хрома(III)	270
43.3. Нитрид хрома(III)	271
43.4. Сульфид хрома(III)	271
43.5. Диоксидхлорид хрома(VI) (хлорид хромила)	272
43.6. Комплексные соли аммиаков хрома(III)	273
43.7. Диаминтетратиоцианатохромат(III) аммония	275
43.8. Гексадиоцианатохромат(III) пиперидиния	276
Глава 44. Молибден, вольфрам	277
44.1. Получение молибдена (вольфрама)	277
44.2. Получение оксида молибдена(VI) окислением молибденита в кипящем слое	277
44.3. Вольфрамовые бронзы	278
44.4. Трибромид молибдена	278
44.5. Гексахлоромолибдат(III) калия (аммония) и нонахлоридомолибдат(III) аммония	279
Глава 45. Марганец	281
45.1. Оксид марганца(II)	281
45.2. Манганат(VI) натрия	282
45.3. Гексагидрат молибдоманганата(IV) аммония — $(\text{NH}_4)_6(\text{MnMo}_9\text{O}_{32}) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$...	283
45.4. Ацетат марганца(III)	284
Глава 46. Железо, кобальт, никель	286
46.1. Восстановленное железо (кобальт, никель)	286
46.2. Пирофорное железо	286
46.3. Хлорид гексаамминкобальта(II)	286
46.4. Карбонил никеля	287
Приложения	289
Приложение 1. Курсовая работа по неорганической химии	289
Приложение 2. Справочные таблицы	293
Приложение 3. Стандартные окислительные потенциалы (E°) по отношению к потенциалу стандартного водородного электрода	365
Список литературы	378