

ВЫСШЕЕ

ОБРАЗОВАНИЕ

И. В. Кузнецова,
А. Н. Григорьев

ТЕХНИКА ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА В ХИМИИ

УМО ВО
РЕКОМЕНДУЕТ

 **юрайт**
ИЗДАТЕЛЬСТВО

И. В. Кузнецова, А. Н. Григорьев

ТЕХНИКА ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА В ХИМИИ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ ВУЗОВ

*Рекомендовано Учебно-методическим отделом высшего образования
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по естественнонаучным направлениям*

**Книга доступна на образовательной платформе «Юрайт» urait.ru,
а также в мобильном приложении «Юрайт.Библиотека»**

Москва • Юрайт • 2022



УДК 542(075.8)
ББК 24.12я73
К89

Авторы:

Кузнецова Ирина Владимировна — кандидат химических наук, доцент, заместитель директора по учебной работе, доцент кафедры общей и неорганической химии Института химии Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, доцент кафедры неорганической химии и химической технологии факультета экологии и химической технологии Воронежского государственного университета инженерных технологий;

Григорьев Андрей Николаевич — кандидат химических наук, доцент, заместитель заведующего кафедрой неорганической химии по учебной работе химического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова.

Рецензенты:

Дунаев С. Ф. — доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой общей химии Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова;

Решетов П. В. — доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой общей, биоорганической и фармацевтической химии Саратовского государственного медицинского университета имени В. И. Разумовского.

Кузнецова, И. В.

К89

Техника лабораторного эксперимента в химии: учебное пособие для вузов / И. В. Кузнецова, А. Н. Григорьев. — Москва: Издательство Юрайт, 2022. — 244 с. — (Высшее образование). — Текст: непосредственный.

ISBN 978-5-534-14666-0

В пособии обобщена техника проведения экспериментов для выполнения лабораторных работ по курсу неорганической химии. Каждая из тем содержит краткую справку с указанием необходимой теории, список заданий для студентов с различным уровнем подготовки и описание необходимых для их выполнения опытов. Работа с пособием способствует формированию у студентов глубокого понимания химических реакций, развитию их профессиональных способностей и навыков самостоятельных действий.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по естественнонаучным направлениям.

УДК 542(075.8)
ББК 24.12я73

ISBN 978-5-534-14666-0

© Кузнецова И. В., Григорьев А. Н., 2021
© ООО «Издательство Юрайт», 2022



Оглавление

Обращение к преподавателям	7
Обращение к студентам	14
Оформление лабораторного журнала	16
Правила техники безопасности при работе в химической лаборатории.....	19
Оказание первой медицинской помощи	22
Тема 1. Техника лабораторных работ.....	23
Тема 2. От уникальности связей к реакционной способности. Объясняем инертность азота и восстановительные свойства водородных соединений	32
Вырабатываем собственную точку зрения: темы учебно-исследовательских задач.....	32
Действуем самостоятельно: экспериментальные задания по теме «Способы получения и свойства молекулярного азота и важнейших азотсодержащих водородных соединений»...32	
Задания для самостоятельной работы и теоретического обсуждения эксперимента	36
Тема 3. Оксиды и кислоты азота — сильные окислители. Продолжаем изучать корреляции строение → свойства → применение	38
Вырабатываем собственную точку зрения: темы учебно-исследовательских задач.....	38
Действуем самостоятельно: экспериментальные задания по теме «Способы получения и свойства кислородных соединений азота»	38
Задания для самостоятельной работы и теоретического обсуждения эксперимента	42



Тема 4. Фосфор в современной химии и технологии. Особенности строения и многообразие кислородных соединений фосфора.....	45
Вырабатываем собственную точку зрения: темы учебно-исследовательских задач.....	45
Действуем самостоятельно: экспериментальные задания по теме «Способы получения и свойства соединений фосфора (V)».....	45
Задания для самостоятельной работы и теоретического обсуждения эксперимента	49
Тема 5. Мышьяк — сурьма — висмут: от неметалла к металлу. Изучаем характерные признаки	52
Вырабатываем собственную точку зрения: темы учебно-исследовательских задач.....	52
Действуем самостоятельно: экспериментальные задания по теме «Способы получения и свойства сурьмы, висмута и их соединений»	52
Задания для самостоятельной работы и теоретического обсуждения эксперимента	56
Тема 6. Насыщаемость, валентность и степень окисления: что определяет свойства соединений углерода?	59
Вырабатываем собственную точку зрения: темы учебно-исследовательских задач.....	59
Действуем самостоятельно: экспериментальные задания по теме «Способы получения и свойства углерода и его кислородных соединений».....	59
Задания для самостоятельной работы и теоретического обсуждения эксперимента	63
Тема 7. Кремний тоже «любит» кислород или неокислительная химия кремния	67
Вырабатываем собственную точку зрения: темы учебно-исследовательских задач.....	67
Действуем самостоятельно: экспериментальные задания по теме «Способы получения и свойства кремния и его кислородных соединений».....	67
Задания для самостоятельной работы и теоретического обсуждения эксперимента	69



Тема 8. Германий — олово — свинец: предсказываем кислотно-основные свойства. Торжество Периодического закона	72
Вырабатываем собственную точку зрения: темы учебно-исследовательских задач.....	72
Действуем самостоятельно: экспериментальные задания по теме «Способы получения и свойства олова, свинца и их соединений»	72
Задания для самостоятельной работы и теоретического обсуждения эксперимента	77
Тема 9. Многоликий хром. Обобщаем все известные химические свойства в одном элементе	80
Вырабатываем собственную точку зрения: темы учебно-исследовательских задач.....	80
Действуем самостоятельно: экспериментальные задания по теме «Способы получения и свойства важнейших соединений хрома»	80
Задания для самостоятельной работы и теоретического обсуждения эксперимента	83
Тема 10. Марганец в неорганической, органической и аналитической химии. Все окислительно-восстановительные реакции в трех схемах. Главное — среда	87
Вырабатываем собственную точку зрения: темы учебно-исследовательских задач	87
Действуем самостоятельно: экспериментальные задания по теме «Способы получения и свойства важнейших соединений марганца».....	87
Задания для самостоятельной работы и теоретического обсуждения эксперимента	90
Тема 11. Железо, кобальт, никель. Удивительное сходство с неэлектронными аналогами — хромом, марганцем, ...каким еще? Учимся сравнивать	93
Вырабатываем собственную точку зрения: темы учебно-исследовательских задач	93
Действуем самостоятельно: экспериментальные задания по теме «Способы получения и свойства важнейших соединений железа, кобальта и никеля»	93
Задания для самостоятельной работы и теоретического обсуждения эксперимента	99



Тема 12. Медь, серебро, золото: электронные аналоги, а такие разные. «Непохожая» похожесть свойств	103
Вырабатываем собственную точку зрения: темы учебно-исследовательских задач.....	103
Действуем самостоятельно: экспериментальные задания по теме «Способы получения и свойства важнейших соединений меди и серебра»	103
Задания для самостоятельной работы и теоретического обсуждения эксперимента	106
Тема 13. Цинк, кадмий, ртуть: s- или d-элементы?	109
Вырабатываем собственную точку зрения: темы учебно-исследовательских задач.....	109
Действуем самостоятельно: экспериментальные задания по теме «Способы получения и свойства важнейших соединений цинка и кадмия»	109
Задания для самостоятельной работы и теоретического обсуждения эксперимента	111
Приложения	113
Приложение 1. Константы диссоциации кислот в водном растворе при $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	113
Приложение 2. Константы диссоциации оснований в водном растворе при $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	116
Приложение 3. Произведения растворимости и растворимости малорастворимых веществ	118
Приложение 4. Константы устойчивости моноядерных комплексов	134
Приложение 5. Термодинамические свойства неорганических веществ.....	146
Приложение 6. Стандартные окислительно-восстановительные потенциалы в водных растворах в алфавитном порядке названий элементов.....	204
Приложение 7. Стандартные окислительно-восстановительные потенциалы в водных растворах в порядке увеличения потенциалов	235
Приложение 8. Стандартные окислительно-восстановительные потенциалы металлов в водных растворах при $\text{pH} = 0$ ($t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$)	241
Список использованных источников	243



Обращение к преподавателям

Перед вами учебное пособие, посвященное организации лабораторных занятий по неорганической химии, апробированное в Саратовском национальном исследовательском государственном университете. В нем мы обобщили большой опыт преподавания курса неорганической химии на кафедрах неорганической химии Московского государственного университета и общей и неорганической химии Саратовского национального исследовательского государственного университета с учетом современных достижений в области методики преподавания химии. Название пособия не случайно. В процессе выполнения данного практикума у студентов должно происходить постепенное развитие профессиональных способностей. Первым шагом на пути такого роста является выполнение опыта строго по инструкции с его простым теоретическим описанием. На втором этапе уже возможно небольшое исследование с вариацией экспериментальных действий и детальное теоретическое обоснование наблюдаемых признаков. И, наконец, в конце семестра появляются задания на сравнение и самостоятельную разработку типовых методик, отвечающих цели исследования, а теоретическое обоснование носит аналитический характер.

Зачем нужно новое пособие?

Это пособие разработано в новом формате — формате исследовательского обучения с элементами нейролингвистического программирования. Что это такое? Исследовательское обучение — особый подход, построенный на основе естественного стремления человека к самостоятельному изучению окружающего мира. Главная его цель — формирование у обучающегося готовности и способности *самостоятельно, творчески* осваивать и *перестраивать* новые способы деятельности в любой сфере человеческой культуры. Применительно к лабораторному практикуму — это самостоятельный поиск новых умений

и навыков проведения и оформления результатов химического эксперимента. Со своей точки зрения добавим: у студентов при выполнении данного практикума должен появиться **собственный взгляд на планирование и объяснение** результатов химического эксперимента. При этом роль преподавателя кардинально меняется. В таком формате преподаватель (М. В. Кларин):

- побуждает студентов формулировать имеющиеся у них идеи и представления, высказывать их в устной и письменной форме;

- «сталкивает» студентов с явлениями, которые входят в противоречие с уже имеющимися представлениями;

- побуждает студентов выдвигать альтернативные объяснения, предположения и догадки;

- дает студентам возможность исследовать и подтвердить свои предположения;

- дает студентам возможность применять новые представления к широкому кругу явлений, ситуаций, чтобы они могли оценить их значимость.

Теперь расшифруем понятие «нейролингвистическое программирование». «Нейро-» представляет собой образ человеческого мышления, мировоззрение, стереотипы, сформировавшиеся вследствие контакта человека со средой и социумом. «Лингвистическое» представляет язык человека, акцент на значимость устной и письменной речи. Это — обучение пониманию речевых структур и управлению языковыми конструкциями, которое играет стержневую роль в современном образовании. «Мысль меняется в зависимости от слов, которые ее выражают» (Б. Паскаль). Мы исходим из того, что разные слова, например, «изучить» и «исследовать», «запускают» различные мыслительные действия и, соответственно, различное учебное поведение студентов. «Программирование» предполагает, что студент сам управляет собственной учебной деятельностью для достижения поставленных целей. А для этого у него необходимо сформировать высокую степень осознанности, в данном случае, выполнения лабораторного практикума. Лучший способ ее формирования — *создание ситуации выбора*. По сути, метод нейролингвистического программирования является исследованием собственной мыслительной деятельности, поведения и речевого потенциала, с помощью которых студент выстраивает набор эффективных стратегий, способствующих его успешной учебе.



Какие уровни знаний и умений отвечают исследовательскому обучению?

Уровни знаний и уровни умений хорошо представлены в педагогической литературе. Известны таксономия Б. Блума, уровни усвоения по И. Я. Лернеру, уровни знаний, умений и учебной деятельности В. П. Беспалько и Ю. Г. Татура. Остановимся на последней классификации (тарификаторе «ТАФО»), так как здесь хорошо представлена взаимосвязь между уровнями знаний и уровнями умений, формируемыми в ходе проведения химического эксперимента.

Традиционно в вузе при изучении теоретического материала профильных химических дисциплин в идеале мы хотим сформировать у студентов глубокие фундаментальные знания — знания 3-го уровня — *воспроизведение и понимание полученных знаний; способность представить их в виде логически завершенных элементов, составляющих единое целое, установить общность и различие изученных методов, способов, приемов и алгоритмов (аналитическое знание или знание-понимание)*. Это минимальный (есть еще 4-й уровень) уровень, отвечающий исследовательскому обучению. Если школьная подготовка невысока, то мы вынуждены преподавать на 2-м уровне с элементами 3-го. *Второй уровень — это самостоятельное воспроизведение по памяти в устной и письменной форме изученного материала; демонстрация понимания смысла воспроизводимых знаний (знания-копии)*.

Лабораторный практикум призван сформировать экспериментальные умения. Они тоже делятся на 4 уровня. Приведем только первые два:

1-й уровень — это умение выполнять предписанные действия с опорой на инструкцию (заданный алгоритм) в известной и не изменяющейся ситуации (первичные умения);

2-й уровень — это умение самостоятельно выполнять типовые действия, требующие выбора методов из числа известных в предсказуемо меняющейся ситуации (репродуктивные умения).

Согласно Ю. Г. Татуре, знания и умения должны преподаваться либо на одном уровне, либо уровень умений не должен превышать уровень знаний. Но все же различие на два порядка вряд ли можно считать оптимальным, в этом случае практикум не будет отвечать своей обучающей исследовательской функции. В данном пособии мы предлагаем выполнять лабора-

торный практикум на 2-м уровне сложности, так как изучение химии элементов проходит во 2-м семестре и определенные первичные навыки проведения эксперимента у студентов уже сформированы.

Какие умения и навыки вырабатываются в ходе выполнения исследовательского практикума?

Традиционно практикум рассматривают как экспериментальное подтверждение теоретических знаний, единство теории и практики, приобретение экспериментальных навыков. Давайте конкретизируем применительно к исследовательскому практикуму общие и частные экспериментальные навыки:

- постановка цели опыта в целом;
- выбор методики проведения эксперимента из числа предложенных, отвечающей поставленной цели;
- планирование эксперимента — составление перечня последовательности действий;
- постановка цели каждого практического действия, выполняемого в опыте;
- моделирование эксперимента — ожидаемые результаты, исходя из теоретических знаний;
- умение перестраивать последовательность действий в предсказуемо меняющейся ситуации, если не достигнут планируемый результат (цель практического действия);
- выбор реагентов для проведения эксперимента из числа имеющихся в лаборатории;
- умение собрать простейшую установку;
- умение проводить измерения на учебном лабораторном оборудовании с различной степенью точности;
- наблюдательность, воображение, концентрация и распределение внимания, аккуратность;
- умение объяснить условия и наблюдаемые признаки реакции;
- умение представить результаты исследования в лабораторном журнале.

Структура и особенности нового пособия

1. *Названия тем* сформулированы так, чтобы отразить главную особенность изучаемого материала. Так как студенты будут пользоваться этим пособием в течение всего семестра,



то эти названия часто будут попадаться им на глаза, что позволит запомнить главную особенность химии данного элемента.

2. Раздел *«Вырабатываем собственную точку зрения: темы учебно-исследовательских задач»* предполагает изучение дополнительного теоретического материала преимущественно прикладной направленности и формулирование *собственных выводов* из найденной информации. Это стимулирует мотивацию изучения данной темы и развивает социальную компетентность личности.

3. Далее сформулирован набор экспериментальных заданий по каждой теме. Этот раздел называется *«Действуем самостоятельно: экспериментальные задания по теме»*. Заданий много и разных. Одному заданию может соответствовать либо один, либо несколько опытов. Это определяет уровень сложности выполняемого задания. И, наоборот, одному опыту может соответствовать несколько заданий в зависимости от цели опыта.

Во-первых, задания бывают «изучить», «исследовать» или «сравнить». Задание «изучить» предполагает, что возможен только один способ получения или изучения свойства без варьирования условий эксперимента. В этом случае опыт выполняется строго по той методике, которая приведена в этом разделе.

Задание «исследовать способы получения ..., свойства ...» предполагает варьирование условий эксперимента (в пределах техники безопасности — разбавленные растворы или концентрированные, недостаток или избыток реагента, порядок сливания, при комнатной температуре или при нагревании) и выбор оптимальных. В этом случае мы предоставляем студентам возможность *самостоятельно* планировать и перестраивать эксперимент для достижения поставленной цели, т. е. формируем первичные навыки научного исследования. Как говорил Ф. Вольтер: *«Нельзя иметь верного понятия о том, чего не испытывали»*.

При выборе оптимальных условий нет эталонного ответа, это исключительно собственное видение результата. Например, при изучении отношения металлов к различным кислотам в конечном итоге студенты должны сформулировать вывод, в чем лучше растворить металл. Один студент может выбрать растворение в соляной кислоте, потому что опыт относительно безопасен, а другой — в азотной кислоте, так как возможно скорость реакции выше и т. п.

Во-вторых, в пособии представлены задания разного уровня сложности. Для слабых студентов задания могут быть простыми, например, изучить или исследовать кислотные свойства какого-то одного вещества. Для более сильных студентов задания сложнее, например, сравнить восстановительные свойства аммиака, гидразина и гидроксилamina. Сравнение — это мыслительная операция достаточно высокого уровня, что позволяет достичь и достаточно высокого 3-го уровня знаний. Новым является еще то, что в заданиях предусмотрены сравнения не только в рамках одной темы, но и с ранее изученными темами или теоретическим материалом.

В-третьих, новым является постепенное к концу семестра уменьшение основы ориентировочных действий, т. е. если в начале семестра к каждому заданию предлагается описание эксперимента, то к концу семестра для заданий, которые выполнялись многократно, студенту предлагается самостоятельно разработать методику, например, изучения кислотно-основных свойств какого-либо вещества. Это будет показателем сформированности экспериментальных умений, которое можно оценивать отдельно.

4. После получения задания студент из раздела *«Рекомендуемые опыты»* должен выбрать те, которые позволяют решить поставленную задачу. Это может быть один опыт, если задание простое, или несколько, если оно сложное.

Выдавать задания можно по-разному. Например, всем студентам дать один-два обязательных опыта, а остальные — по выбору в зависимости от имеющегося времени, от учебных возможностей студентов и т. п., или всем давать разные задания. Это исключит списывание, обеспечит возможность продвижения в собственном комфортном для студентов темпе. Можно также подбирать опыты, которые восполняют пробелы в имеющихся у студентов теоретических знаниях. От количества и уровня сложности выполненных опытов зависит оценка.

Еще одна особенность: у одного и того же опыта могут быть разные цели и, соответственно, разные задания, например, взаимодействие оксида углерода (IV) с гидроксидом кальция можно изучать и как свойство кислотного оксида, и как способы получения средней и кислой соли в зависимости от условий проведения эксперимента, и студенты должны это понимать.

5. Последний раздел, *«Задания для самостоятельной работы и теоретического обсуждения эксперимента»*, направлен



на систематизацию, переформулирование и обобщение теоретического материала лекций, учебников и других источников информации для объяснения эксперимента в лабораторном журнале с привлечением большого количества справочных данных и расчетных задач.

Как оформляются результаты исследований?

Мы предлагаем оформлять лабораторный журнал в виде мини-курсовой работы с коротким обзором литературы, экспериментальной частью, теоретической частью (расчетами, справочными данными и т. п.), результатами и объяснением экспериментальных данных. Такой формат отвечает современному определению неорганической химии как учебной дисциплины.

Неорганическая химия — это экспериментальное исследование и теоретическая интерпретация строения и свойств простых и сложных веществ всех элементов за исключением углеродов и большинства их производных.

Ключевым является обзор учебной литературы, привлечение справочных данных, расчетных задач для объяснения условий эксперимента, признаков реакций и т. п., что в максимальной степени отвечает единству теории и практики химической науки.



Обращение к студентам

Стремительно меняющаяся жизнь, социальные условия неопределенности и риска заставляют пересматривать роль и значение исследовательского поведения в жизни любого человека, и не только связанного с научной работой. Основанное на исследовательском мышлении, оно является хорошим фундаментом компетентности личности в любой сфере деятельности, не только профессиональной, но и социальной. Учеными доказано, что высокий уровень логического мышления обеспечивают высокую стрессоустойчивость человека в обществе за счет правильного анализа ситуации. Это, в свою очередь, позволяет вырабатывать эффективные жизненные стратегии, а отсутствие стрессов и социальная успешность являются залогом, в том числе, хорошего здоровья.

Предлагаемое нами пособие направлено как раз на развитие у вас логического мышления в ходе выполнения практикума по исследованию неорганической химии элементов. Выбирая и выполняя задания высокого уровня сложности, к концу семестра вы приобретете важнейшие умения и навыки, которые могут быть применены в любой ситуации:

- постановка цели опыта;
- выбор из числа предложенных методики проведения эксперимента, отвечающей поставленной цели;
- планирование эксперимента, составление последовательности действий;
- постановка цели каждого практического действия, выполняемого в опыте;
- моделирование эксперимента — ожидаемые результаты, исходя из анализа ситуации;
- умение перестраивать последовательность действий в предсказуемо меняющейся ситуации, если не достигнут планируемый результат (цель практического действия);
- выбор реагентов для проведения эксперимента из числа имеющихся в лаборатории;



- умение собрать простейшую установку;
- умение проводить измерения на учебном лабораторном оборудовании с различной степенью точности;
- навыки наблюдательности, воображения, концентрации и распределения внимания, аккуратности;
- умение объяснить условия и наблюдаемые признаки реакции;
- умение представить результаты исследования в лабораторном журнале.

Будьте активны, прилагайте усилия и у вас все получится!

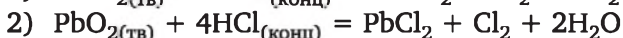
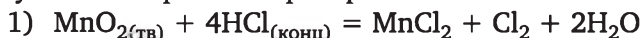


Оформление лабораторного журнала

1. Задача исследования — ...
2. Обзор литературы (например, известные уравнения реакций получения или свойства веществ).
3. Экспериментальная часть:
 - план эксперимента — последовательность выполняемых действий;
 - какие из реакций выполнены экспериментально;
 - условия проведения реакций (агрегатные состояния, количества веществ, порядок сливания реагентов, температурный режим и т. п.);
 - признаки протекаемых реакций (выпадение осадка ... цвета, изменение окраски раствора с ... на ... цвет, качественная реакция на продукт реакции и т. п.).
4. Теоретическая часть:
 - термодинамические расчеты;
 - значения констант диссоциации, устойчивости, потенциалов и т. п.;
 - строение веществ и их прогнозируемая реакционная способность и т. п.
5. Результаты и объяснение экспериментальных данных:
 - *оптимальным* способом получения является ..., *потому что* ...;
 - вещество проявляет сильные/слабые ... свойства *потому, что* ... и т. п.

Пример оформления лабораторного журнала

1. **Задача исследования** — изучить все возможные лабораторные способы получения хлора и выбрать оптимальный для получения малых и (или) больших количеств хлора.
2. **Литературные данные.** В учебниках можно найти и согласно справочным данным предположить следующие реакции получения хлора в лаборатории:



- 3) $\text{KClO}_{3(\text{ТВ})} + 6\text{HCl}_{(\text{конц})} = 3\text{Cl}_2 + \text{KCl} + 3\text{H}_2\text{O}$
- 4) $\text{KBiO}_{3(\text{ТВ})} + 6\text{HCl}_{(\text{конц})} = \text{BiCl}_3 + \text{Cl}_2 + \text{KCl} + 3\text{H}_2\text{O}$
- 5) $2\text{KMnO}_{4(\text{ТВ})} + 16\text{HCl}_{(\text{конц})} = 2\text{MnCl}_2 + 5\text{Cl}_2 + 2\text{KCl} + 8\text{H}_2\text{O}$
- 6) $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_{7(\text{ТВ})} + 14\text{HCl}_{(\text{конц})} = 2\text{CrCl}_3 + 3\text{Cl}_2 + 2\text{KCl} + 7\text{H}_2\text{O}$
- 7) $2\text{K}_2\text{FeO}_{4(\text{ТВ})} + 16\text{HCl}_{(\text{конц})} = 2\text{FeCl}_3 + 3\text{Cl}_2 + 4\text{KCl} + 8\text{H}_2\text{O}$
- 8) $2\text{Co}(\text{OH})_{3(\text{ТВ})} + 6\text{HCl}_{(\text{конц})} = 2\text{CoCl}_2 + \text{Cl}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$
- 9) $2\text{Ni}(\text{OH})_{3(\text{ТВ})} + 6\text{HCl}_{(\text{конц})} = 2\text{NiCl}_2 + \text{Cl}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$

Для проведения эксперимента выбираем реакции 5 и 6.

3. Экспериментальная часть.

Последовательность действий (эксперимент выполняется в вытяжном шкафу):

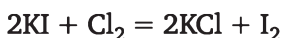
- 1) взять штатив, держатель для пробирок и спички;
- 2) две йодкрахмальные бумаги смочить дистиллированной водой;
- 3) в две пробирки насыпать немного (объемом с горошину) кристаллических веществ KMnO_4 и $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$;
- 4) включить газовую горелку, расположенную в вытяжном шкафу;
- 5) в одну из пробирок прилить 1—3 мл концентрированной соляной кислоты;
- 6) если скорость реакции мала, нагреть пробирку с веществом;
- 7) поднести к отверстию пробирки йодкрахмальную бумагу;
- 8) провести аналогичный эксперимент со вторым веществом;
- 9) вымыть пробирки в вытяжном шкафу.



Для всех опытов:

— качественная реакция на Cl_2 — влажная йодкрахмальная бумага синее;

— объяснение:



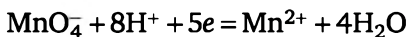
— при комнатной температуре все реакции протекают медленно, при нагревании скорость реакции увеличивается;



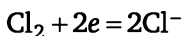
— в реакции с дихроматом калия объем выделяющегося хлора на моль окислителя больше.

4. Теоретическая часть.

Расчет $\Delta_r G_{298}^0$ для первой реакции:



$$E^0 = +1,507 \text{ В};$$

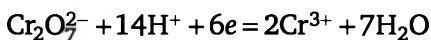


$$E^0 = +1,359 \text{ В};$$

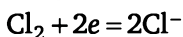
$$\Delta E = +1,507 - 1,359 = +0,148 \text{ В};$$

$\Delta_r G_{298}^0 = -10 \cdot 96\,485 \cdot 0,148 = -142\,798 \text{ Дж}$ — реакция в стандартных условиях идет самопроизвольно.

Расчет $\Delta_r G_{298}^0$ для второй реакции:



$$E^0 = +1,380 \text{ В};$$



$$E^0 = +1,359 \text{ В};$$

$$\Delta E = +1,380 - 1,359 = 0,021 \text{ В};$$

$\Delta_r G_{298}^0 = -6 \cdot 96\,485 \cdot 0,021 = -12\,157 \text{ Дж}$ — реакция в стандартных условиях идет самопроизвольно.

5. Результаты и объяснение экспериментальных данных.

Получить хлор в лаборатории можно взаимодействием твердых сильных окислителей с концентрированной соляной кислотой. Оптимальными способами являются взаимодействие кристаллических KMnO_4 или $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ с $\text{HCl}_{(\text{конц})}$ для получения малых количеств хлора, так как эти реактивы являются доступными препаратами и имеются в лаборатории. Все реакции термодинамически разрешены. Наиболее глубоко протекает реакция с перманганатом калия и, следовательно, в стандартных условиях количество образуемого хлора будет наибольшим. Но все реакции протекают в условиях, отличных от стандартных (использование твердых окислителей, концентрированной соляной кислоты и нагревание). Это можно объяснить малой скоростью взаимодействия реагентов в стандартных растворах с концентрацией 1 моль/л. Либо, учитывая растворимость хлора в воде (2,3 л в 1 л водного раствора при $t = 20^\circ\text{C}$), можно предположить, что выделившийся хлор останется в растворе, а не выделится в газообразном состоянии. И в том, и в другом случае цель опыта не будет достигнута.



Правила техники безопасности при работе в химической лаборатории

Общие положения

1. К работе в химической лаборатории допускаются лица, являющиеся студентами данного вуза, прошедшие вводный инструктаж по технике безопасности и обязующиеся ее выполнять, о чем имеется соответствующая запись в журнале по технике безопасности.

2. Периодический инструктаж должен проводиться на рабочем месте дважды в год.

3. Перед работой с новыми веществами, а также в случае нарушения студентом правил техники безопасности проводится внеплановый инструктаж.

4. Нарушения (невыполнение, ненадлежащее выполнение или уклонение от выполнения) данных правил в зависимости от наступивших последствий влечет уголовную, административную, дисциплинарную или иную ответственность в соответствии с действующим законодательством РФ.

5. Работать в лаборатории разрешается только в халатах из хлопчатобумажной ткани с длинными рукавами, защитных очках и при необходимости в перчатках.

6. Длинные волосы должны быть аккуратно подобраны. Желательно повязывать хлопчатобумажную косынку.

7. В лаборатории запрещается курить, принимать пищу и напитки.

8. Запрещается работать в лаборатории в отсутствие преподавателя или лаборанта, а также проводить эксперименты, не связанные с выполнением учебного практикума.

9. Во время работы в лаборатории необходимо соблюдать чистоту, тишину и порядок. При проведении всех опытов с химическими веществами соблюдать максимальную осторожность. Помните, что неаккуратность, невнимательность, недостаточное знакомство с приборами и свойствами веществ могут повлечь за собой несчастный случай.

10. После завершения работы надо тщательно вымыть руки с мылом.

11. Запрещается выходить из лаборатории во время проведения практикума без разрешения преподавателя.

Правила безопасной работы с химическими веществами

1. При работе с химическими реактивами в лаборатории должно находиться не менее двух человек.

2. Приступая к работе, студенты обязаны осмотреть и привести в порядок свое рабочее место: при необходимости протереть его и освободить от ненужных предметов.

3. Работы с едкими и ядовитыми веществами, а также с органическими растворителями следует проводить только в вытяжных шкафах.

4. При определении запаха химических веществ их следует нюхать осторожно, направляя к себе пары или газы движением руки.

5. При работе в вытяжном шкафу его створки следует поднимать на высоту не более 20—30 см так, чтобы в нем находились только руки, а наблюдение за ходом процесса необходимо вести через стекла створки.

6. При работе с химическими реактивами следует включать и выключать вытяжную вентиляцию не менее чем за 30 минут до начала и после окончания работ.

7. Смешивание или разбавление химических веществ, сопровождающееся выделением тепла, следует проводить в термостойкой стеклянной или фарфоровой посуде.

8. При нагревании пробирок или упаривании в стаканах реакционных смесей их следует тщательно перемешивать, так как нижний и верхний слои растворов имеют различную плотность, вследствие чего может произойти выбрасывание жидкости.

9. Для нагревания жидкостей следует использовать только термостойкую посуду.

10. Во избежание ожогов, поражений от брызг и выбросов нельзя наклоняться над посудой, в которой нагревается какая-либо жидкость.

11. При нагревании жидкости в пробирке ее следует держать отверстием в сторону от себя и от остальных студентов и сотрудников.

12. Избыток налитого в пробирку или стакан реактива нельзя выливать обратно в общую склянку.



Работа с кислотами и щелочами

1. Работу с концентрированными кислотами и щелочами следует проводить только в вытяжном шкафу и с использованием защитных средств.

2. Приливать воду в концентрированные кислоты, твердые или концентрированные щелочи запрещается!

3. Пролитую кислоту следует засыпать песком. После уборки песка место, где была разлита кислота, посыпать известью или содой, а затем промыть водой.

4. Пролитые концентрированные растворы аммиака, гидроксидов натрия и калия следует засыпать песком или древесными опилками, а после их удаления обработать место слабым раствором уксусной кислоты.

5. Ипользованную химическую посуду и приборы, содержащие кислоты, щелочи и другие едкие вещества, перед сдачей лаборанту необходимо освободить от остатков химических веществ и обязательно ополоснуть водопроводной и дистиллированной водой.

6. Продукты реакций с использованием концентрированных кислот и щелочей сливать в специальные склянки, находящиеся в вытяжном шкафу.

Работа с твердыми веществами

1. Все сухие реактивы следует брать фарфоровыми ложками или шпателями. Брать реактивы руками запрещается!

2. При взвешивании твердых веществ следует пользоваться какой-либо тарой. Запрещается насыпать вещества непосредственно на чашку весов.

3. Просыпавшийся на стол реактив нельзя всыпать обратно в ту же банку, где он хранится.

Работа с ядовитыми газообразными веществами

1. Работы с ядовитыми газообразными веществами следует проводить обязательно в вытяжном шкафу.

2. Перед работой следует проверить силу тяги в вытяжном шкафу. При плохой или недостаточной тяге работать с ядовитыми газообразными веществами запрещено.

3. Продукты реакций с использованием сульфидов щелочных элементов и сероводорода следует нейтрализовать в специальных склянках, находящихся в вытяжном шкафу.

Оказание первой медицинской помощи

При слабом термическом ожоге или ожоге небольшого участка кожи наложите повязку из спиртового раствора танина или смажьте мазью от ожога.

При химическом ожоге кожи концентрированной кислотой немедленно промойте пораженный участок в течение 10—15 мин быстротекущей струей воды, а затем нейтрализуйте 2—5%-ным раствором гидрокарбоната натрия. При попадании на кожу концентрированной серной кислоты или оксида фосфора (V) сначала удалите их сухой тканью, а потом промойте водой и раствором гидрокарбоната натрия.

При химическом ожоге кожи твердой или концентрированной щелочью немедленно промойте пораженный участок в течение 10—15 мин быстротекущей струей воды, а затем нейтрализуйте 2—5%-ным раствором борной кислоты.

При химическом ожоге кожи бромом немедленно промойте пораженный участок 2—5%-ным раствором тиосульфата или гидрокарбоната натрия.

При ожоге глаз немедленно промойте их струей воды комнатной температуры в течение 10—15 мин. Промывайте так, чтобы вода стекала от носа наружу. Наложите на глаза сухую стерильную повязку и немедленно обратитесь к врачу. Не предпринимайте никаких самостоятельных медицинских действий.

При ожоге рта или желудка выпейте большое количество воды. Далее, при ожоге кислотой, выпейте взвесь мела, а при ожоге щелочью — 3%-ный раствор пищевого уксуса или лимонной кислоты.

При отравлении газами или парами вдыхайте свежий воздух и соблюдайте покой. Не допускайте вдыханий паров воды. В случае необходимости пострадавшему необходимо сделать искусственное дыхание.

При порезах кожи обработайте края раны 3%-ным раствором пероксида водорода или 5%-ной настойкой йода, закройте рану бактерицидным пластырем.

При серьезных поражениях в каждом случае обратитесь к врачу за квалифицированной медицинской помощью!!!



Тема 1

ТЕХНИКА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Как измерить объем жидкости с различной степенью точности?

Для измерения объемов жидкостей используют пипетки, бюретки, мерные пробирки, цилиндры или мерные стаканы (рис. 1.1). Точность измерений зависит от диаметра посуды и количества делений на ней. Чем меньше диаметр и больше делений, тем точнее может быть измерен объем. Данную посуду используют при проведении количественного эксперимента, например, для установления зависимости скорости химической реакции от концентрации или температуры.

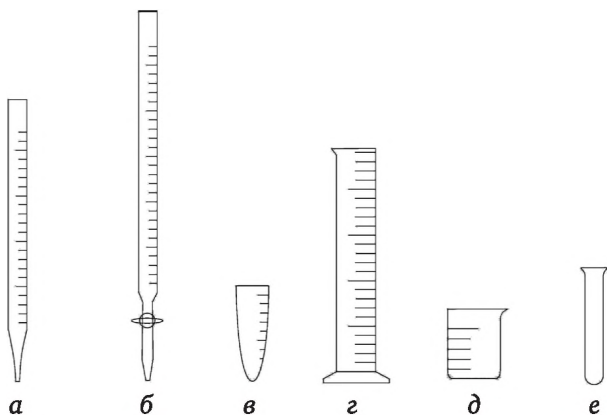


Рис. 1.1. Стеклоянная химическая посуда для измерения объемов жидкостей:

*а — пипетка; б — бюретка; в — мерная пробирка; г — цилиндр;
д — мерный стакан; е — пробирка без делений*

Учебные задачи:

а) для сравнения точности измерения объемов жидкостей различной посудой отмерьте бюреткой 5 мл воды и перелейте ее в мерную пробирку. Сравните показания бюретки и мерной пробирки. Проведите аналогичный эксперимент с бюреткой

и цилиндром; цилиндром и мерной пробиркой. Какая мерная посуда позволяет измерять объемы с большей точностью?

б) для проведения качественного эксперимента обычно используют пробирки без делений (см. рис. 1.1), а объемы измеряют приблизительно («на глаз»). Для приобретения навыка измерения приблизительного объема, обычно рекомендуемого в методиках, налейте в мерную пробирку или цилиндр 1 мл воды и перелейте в пробирку без делений. Запомните высоту жидкого слоя в этой пробирке. Повторите эксперимент с 2, 3, 4 и 5 мл воды;

в) проверьте, правильно ли вы запомнили высоту жидкого слоя разного объема. Для этого налейте в пробирку без делений приблизительно 1 мл воды и перелейте ее в мерную пробирку. Проведите эксперимент с 2, 3, 4 и 5 мл воды. Если вы сильно ошиблись, повторите предыдущий эксперимент, а потом снова проделайте данный опыт.

Как измерить массу твердого вещества с различной степенью точности?

Для измерения точных масс твердых веществ применяют метод взвешивания. В учебных целях, как правило, используют технические весы с точностью взвешивания 0,1—0,01 г, достаточной для большинства опытов. Для проведения качественного эксперимента массы твердых веществ обычно измеряют приблизительно («на глаз»).

Учебные задачи:

а) для приобретения навыка приблизительного измерения масс взвесьте на технических весах по 1 г любых трех твердых веществ и пересыпьте их в три пробирки. Запомните полученные объемы твердых веществ;

б) проверьте, правильно ли вы оцениваете массы веществ. Для этого насыпьте приблизительно 2 г любого твердого вещества в пробирку, затем пересыпьте его на часовое стекло или фильтровальную бумагу и взвесьте на весах.

Как нагревать различные вещества в пробирках?

При нагревании жидкостей и твердых веществ в зависимости от процессов, протекающих при нагревании, следует соблюдать определенный угол наклона пробирки.

Учебные задачи:

а) при нагревании жидкостей отверстие должно располагаться выше дна пробирки (рис. 1.2, а). Налейте в пробирку



3—4 мл любой жидкости, закрепите ее в держателе для пробирок. Равномерно прогрейте пробирку по всей длине 5 раз, а затем нагревайте только нижнюю часть пробирки с жидкостью. Если по методике требуется нагревание большего (более 5 мл) объема, то содержимое пробирки периодически встряхивайте, так как нижний и верхний слои имеют различную плотность, вследствие чего может произойти выбрасывание реакционной смеси;

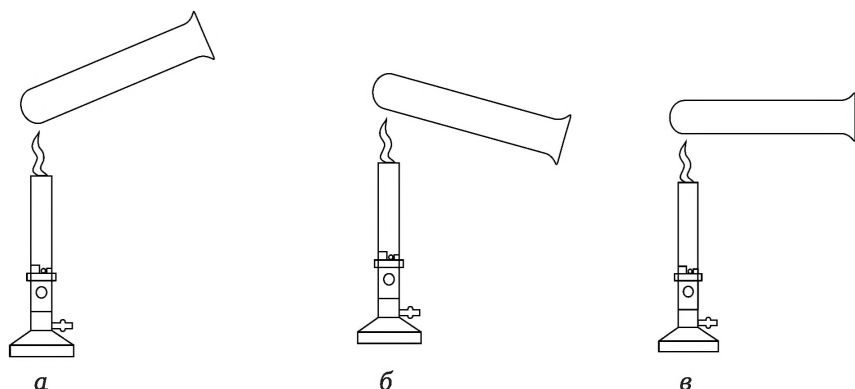


Рис. 1.2. Основные способы нагревания веществ в пробирках

б) техника нагревания **жидкостей с осадком** аналогична (см. рис. 1.2, а). Налейте в пробирку 2 мл раствора сульфата меди (II) и добавьте 2 мл гидроксида натрия или калия. Перед нагреванием содержимое пробирки тщательно перемешайте стеклянной палочкой и постоянно встряхивайте во время нагревания;

в) при нагревании **твердых или смеси твердых веществ**, которые перед разложением или взаимодействием сначала плавятся, отверстие должно располагаться чуть выше дна пробирки (см. рис. 1.2, а). Насыпьте в пробирку 1 г нитрита натрия, добавьте 1 г хлорида аммония. Нагрейте осторожно реакционную смесь. Ход реакции контролируйте тлеющей лучинкой;

г) при нагревании **твердых или смеси твердых веществ**, при разложении или взаимодействии которых выделяется жидкое вещество, отверстие должно располагаться чуть ниже дна пробирки (рис. 1.2, б), чтобы выделяющаяся жидкость не стекала по стенкам пробирки в реакционную смесь. Насыпьте в пробирку 1 г гидрокарбоната меди (II). Нагрейте реакционную

смесь. Наблюдайте образование капелек жидкости на стенках у отверстия пробирки;

д) при нагревании **твердых или смеси твердых веществ**, при разложении или взаимодействии которых выделяются только твердые и (или) газообразные вещества, пробирка должна располагаться параллельно поверхности лабораторного стола (рис. 1.2, в). Насыпьте в пробирку 1 г перманганата калия. Нагрейте реакционную смесь. Ход реакции контролируйте тлеющей лучинкой.

Как получить и собрать газообразное вещество в пробирках?

Для изучения химических свойств газообразных веществ необходимо не только получить их, но и собрать в соответствующую посуду. Получение и хранение газообразных веществ в пробирках применяют в том случае, если в реакции используют небольшие количества исходных реагентов, которые загружают вместе в реакционную пробирку, скорость реакции относительно невелика, а для исследования свойств достаточно малых объемов получаемого газа. Необходимое оборудование зависит от относительной плотности получаемого газа по воздуху и метода сбора. Если для сбора газа используется метод вытеснения воздуха, вам понадобятся две пробирки и пробка с газоотводной трубкой. При использовании метода вытеснения воды вам понадобятся две пробирки, пробка с газоотводной трубкой и чашка или кристаллизатор с водой. Возможные формы газоотводных трубок представлены на рис. 1.3. Наклон пробирки с реакционной смесью может быть различным в зависимости от особенностей процессов, протекающих при нагревании. Расположение пробирки для хранения полученного газа зависит от его относительной плотности по воздуху. Все соединительные элементы должны быть обязательно герметичны для предотвращения утечки газа.

Возможные схемы приборов для получения и хранения газов в малых количествах в зависимости от их физических свойств представлены на рис. 1.4, а — и.

Учебные задачи:

а) предположим, вам необходимо получить и собрать аммиак. Какую из схем вы выберете? Соберите прибор;

б) предположим, вам необходимо получить и собрать кислород. Какую из схем вы выберете? Соберите прибор.



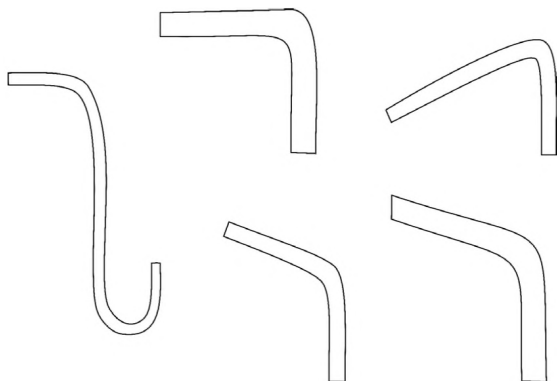


Рис. 1.3. Возможные формы газоотводных трубок

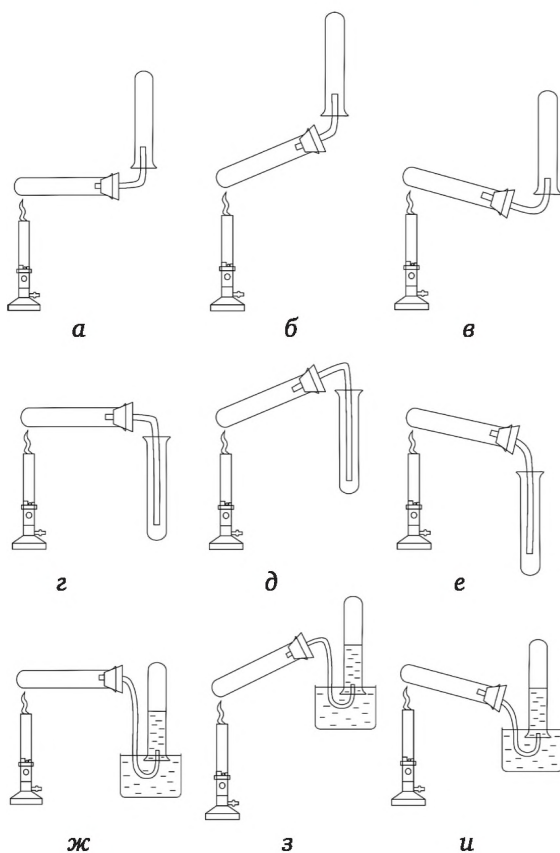


Рис. 1.4. Возможные схемы установок для получения и сбора газов в малых количествах



Как получить газообразное вещество в колбе Вюрца?

Колбу Вюрца (рис. 1.5, а, б) для получения газообразных веществ используют в том случае, если исходные реагенты необходимо смешивать небольшими порциями, так как скорость реакции относительно велика. В колбу загружают один реагент, а в делительную воронку (рис. 1.5, в) — другой, который добавляют к первому небольшими порциями. В этом случае используют большие количества исходных реагентов, и образуется больше продукта, чем в пробирках.

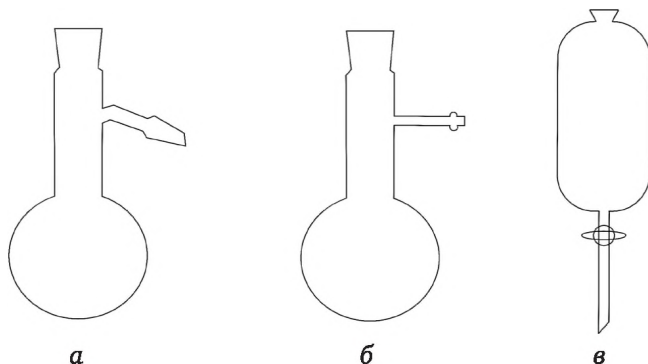


Рис. 1.5. Стеклопосуда для получения газов в больших количествах:
а, б — колбы Вюрца; в — делительная воронка

Если для сбора газа используется метод вытеснения воздуха, вам понадобятся колба Вюрца, делительная воронка, одна из газоотводных трубок (см. рис. 1.3), пробирка (см. рис. 1.1, е) или цилиндр (см. рис. 1.1, з) для хранения полученного газа.

При использовании метода вытеснения воды вам понадобятся колба Вюрца, делительная воронка, одна из газоотводных трубок (см. рис. 1.3), пробирка (см. рис. 1.1, е) или цилиндр (см. рис. 1.1, з) для хранения полученного газа и чашка или кристаллизатор с водой.

Возможные схемы приборов для получения и хранения газов в зависимости от их физических свойств представлены на рис. 1.6, а — в.

Учебные задачи:

а) предположим, вам необходимо получить и собрать оксид азота (II). Какую из схем вы выберете? Соберите прибор;

б) предположим, вам необходимо получить и собрать оксид серы (IV). Какую из схем вы выберете? Соберите прибор.



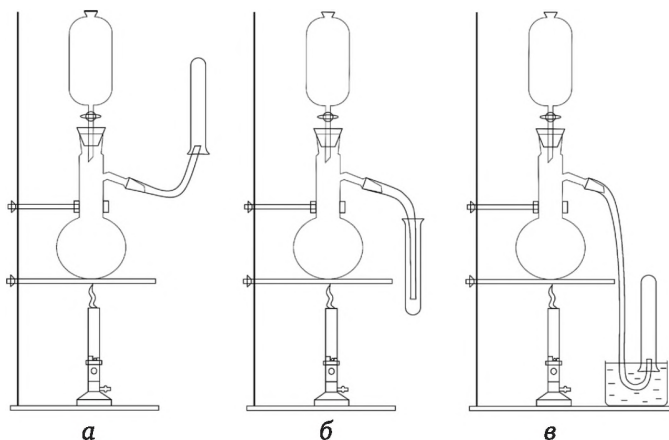


Рис. 1.6. Некоторые возможные схемы установок для получения газов в колбе Вюрца

Как получить газообразное вещество в аппарате Киппа?

В учебной лаборатории в аппарате Киппа (рис. 1.7) получают водород, оксид углерода (IV) и сероводород. Такой метод — один из безопасных и удобных способов получения этих газов в больших количествах.

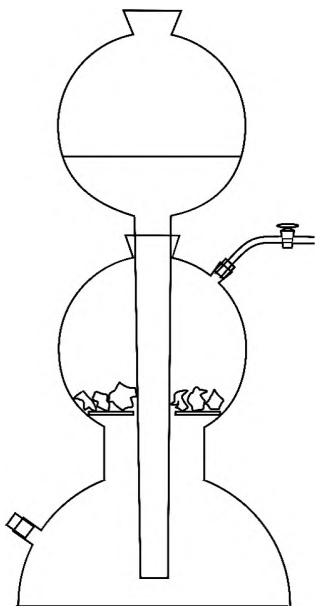


Рис. 1.7. Аппарат Киппа



В средний резервуар загружают куски цинка большого размера (при получении водорода), куски мрамора (при получении оксида углерода (IV)) и куски сульфида железа (II) (при получении сероводорода). В верхний и нижний резервуар обычно наливают соляную кислоту средней концентрации.

При работе с аппаратом Киппа особенно осторожно следует открывать кран, чтобы собрать образовавшийся газ в необходимый сосуд (пробирку, цилиндр, стакан и т. п.). Кран следует придерживать одной рукой, а другой — открывать кран так, чтобы пузырьки газа проходили через промывалку со скоростью примерно 1 шт/с. При больших скоростях аппарат Киппа может «разрядиться».

Учебная задача: предположим, вам необходимо получить оксид углерода (IV) и собрать его в пробирку. Проведите опыт. Полноту заполнения пробирки контролируйте тлеющей лучинкой.

Как определить реакцию среды водных растворов веществ с различной степенью точности?

Значение кислотности водных растворов веществ характеризуется величиной водородного показателя — pH, которое можно определять с помощью pH-метра. Большинство приборов позволяют измерять кислотность среды с точностью $\pm 0,1$ ед. pH. Для определения pH погрузите датчик в водный раствор. На цифровом табло появится значение pH.

Реакцию среды водного раствора также можно определять с помощью раствора универсального индикатора или универсальной индикаторной бумаги. Если вы используете раствор, то капните 2—3 его капли в небольшое количество (несколько капель или $\sim 0,5$ мл) исследуемого водного раствора. При использовании бумаги капните 2—3 капли исследуемого раствора на полоску индикаторной бумаги. Наблюдаемый цвет раствора или бумаги сравните с эталонной шкалой. Данный способ позволяет определять кислотность среды с точностью ± 1 ед. pH.

Для качественного определения кислотности среды используют растворы кислотно-основных индикаторов. В учебной лаборатории с этой целью наиболее часто применяют лакмус, метиловый оранжевый и фенолфталеин. Чтобы определить реакцию среды, капните 2—3 капли индикатора в небольшое количество (несколько капель или $\sim 0,5$ мл) исследуемого водно-



го раствора. Наблюдаемый цвет указывает на кислую ($\text{pH} < 7$), щелочную ($\text{pH} > 7$) или нейтральную ($\text{pH} \approx 7$) реакцию среды водного раствора при $t = 25^\circ\text{C}$.

Учебные задачи:

а) предположим, вам необходимо определить кислотность водного раствора соляной кислоты. Определите его pH всеми предложенными способами. Какой способ дает наиболее точный результат?

б) предположим, вам необходимо определить кислотность водного раствора сульфата аммония. Определите его pH всеми предложенными способами. Какой способ дает наиболее точный результат?



Тема 2

ОТ УНИКАЛЬНОСТИ СВЯЗЕЙ К РЕАКЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ. ОБЪЯСНЯЕМ ИНЕРТНОСТЬ АЗОТА И ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ВОДОРОДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

**Вырабатываем собственную точку зрения:
темы учебно-исследовательских задач**

1. Уникальность химии азота и его важнейших соединений.
2. Какие свойства молекулярного азота лежат в основе его практического использования?
3. Азот — основа жизнедеятельности человека и растений.
4. Важнейшие химические производства, использующие аммиак.
5. Какие свойства гидразина и гидроксилamina лежат в основе их практического применения?

**Действуем самостоятельно: экспериментальные задания
по теме «Способы получения и свойства молекулярного
азота и важнейших азотсодержащих
водородных соединений»**

Задания I уровня

1. Изучите способы получения молекулярного азота и его физические свойства, наблюдаемые в эксперименте.
2. Изучите способы получения аммиака и его физические свойства, наблюдаемые в эксперименте.

Задания II уровня

1. Исследуйте растворимость аммиака и основные свойства его водного раствора.



2. Исследуйте типы реакций термоллиза солей аммония.
3. Исследуйте восстановительные свойства водного раствора аммиака.
4. Исследуйте комплексообразующие свойства газообразного аммиака и его водного раствора.
5. Изучите все возможные качественные реакции на газообразный аммиак и катион аммония.
6. Исследуйте основные свойства водного раствора гидразина.
7. Исследуйте окислительно-восстановительные свойства гидразина.
8. Исследуйте основные свойства водного раствора гидроксиламина.
9. Исследуйте окислительно-восстановительные свойства гидроксиламина.

Задания III уровня

1. Определите степень, константу гидролиза и изменение энергии Гиббса реакции гидролиза одной из солей аммония, имеющих в лаборатории.
2. Сравните основные свойства водных растворов аммиака, гидразина и гидроксиламина одинаковой концентрации.
3. Сравните восстановительные свойства водных растворов аммиака, гидразина и гидроксиламина.

Рекомендуемые опыты

1. Изучите возможные установки для получения газов в теме 1 «Техника лабораторных работ» и выберите соответствующую для получения газа по следующей методике. Смешайте равные объемы насыщенных растворов хлорида аммония и нитрита натрия и нагрейте смесь до температуры 70 °С. Соберите получившийся газ и докажете его состав.
2. Изучите возможные установки для получения газов (см. тему 1) и выберите соответствующую для получения газа по следующей методике. Заполните одну пробирку на 1/3 смесью равных объемов порошкообразных хлорида аммония (почему не нитрата или сульфата?) и гидроксида кальция (почему не калия или натрия?). Закройте ее пробкой с газоотводной трубкой и нагрейте. Соберите получившийся газ.
3. Полученный аммиак растворите в воде. Эксперимент можно проводить в разных техниках. Если аммиак собран в про-

бирку, то ее можно опустить горлышком вниз в кристаллизатор с водой. Если аммиак собран в склянку, то можно выполнить опыт «Фонтан». Исследуйте реакцию среды полученного водного раствора аммиака одним из способов, рекомендуемых в теме 1.

4. Налейте в пробирку 5 мл разбавленного водного раствора аммиака и нагрейте. Поднесите к отверстию пробирки влажную полоску универсальной индикаторной бумаги. Что наблюдаете?

5. Исследуйте реакцию среды 1 моль/л водных растворов хлорида, сульфата или нитрата аммония. Какой способ — с использованием фенолфталеина, универсальной индикаторной бумаги или рН-метра — в этом случае является оптимальным?

6. Получите аммиак и поднесите к отверстию пробирки стеклянную палочку или фильтровальную бумагу, смоченную концентрированным раствором соляной кислоты. Можно ли использовать концентрированные растворы серной, азотной, фосфорной кислот? Ответ обоснуйте.

7. В стакан емкостью 20—25 мл налейте 2—3 мл концентрированной соляной кислоты, осторожно смочите ею стенки стакана и вылейте избыток кислоты в склянку со сливами кислот. В фарфоровую чашку налейте небольшое количество концентрированного раствора аммиака и накройте ее стаканом, перевернутым вверх дном. Что наблюдаете? Дайте теоретическое обоснование.

8. Получите аммиак и пропустите ток газа в пробирку с порошком безводного сульфата меди (II). Можно ли заменить сульфат меди (II) на порошок медного купороса или какой-либо соли другого элемента и почему? Проверьте ваш вывод экспериментально.

9. К раствору сульфата меди (II) или соли никеля (II) прилейте избыток концентрированного водного раствора аммиака. Что наблюдаете? Дайте теоретическое обоснование.

10. К раствору соли алюминия прилейте избыток раствора аммиака. Докажите состав образующегося продукта. Дайте теоретическое обоснование.

11. К разбавленным и концентрированным водным растворам аммиака прилейте избыток: хлорной, бромной, йодной воды, подкисленный разбавленной серной кислотой раствор перманганата калия. Что наблюдаете? Дайте теоретическое обоснование.

12. Нагрейте медную проволоку и наблюдайте, что происходит. Затем опустите ее в насыщенный раствор хлорида аммо-



ния. Какое свойство аммиака и иона аммония лежит в основе использования хлорида аммония при пайке металлов?

13. Предварительно с помощью рН-метра определите рН дистиллированной воды (значение рН должно быть не менее 6,2). В мерных колбах емкостью 100 мл приготовьте 0,1 моль/л водные растворы хлорида, карбоната и ацетата аммония. Определите рН приготовленных растворов. Дайте теоретическое обоснование.

14. В двух склянках без этикеток находятся водные растворы хлорида и карбоната аммония равной концентрации. Определите, где находится какая соль.

15. В сухие пробирки поместите 1—2 г кристаллических хлорида и карбоната аммония. В вытяжном шкафу осторожно их нагрейте. Продумайте, как нужно держать при этом пробирки? Определите тип протекающих реакций. Каковую или какие качественные реакции для этого необходимо провести? Сравните тип этих реакций с типом реакции в опыте 1. Дайте теоретическое обоснование.

16. Определите рН водного раствора гидразина или хлорида гидразиния. Какой способ — использование фенолфталеина, универсальной индикаторной бумаги или рН-метра — в этом случае является оптимальным? Объясните, почему для обоснования основных свойств водного раствора гидразина можно также использовать значение рН соли гидразиния?

17. К водным растворам гидразина или соли гидразиния прилейте йодной воды, подкисленный разбавленной серной кислотой раствор перманганата калия. Что наблюдаете в обоих случаях?

18. Определите рН водного раствора гидроксилamina или соли гидроксилamina. Какой способ — с использованием фенолфталеина, универсальной индикаторной бумаги или рН-метра — в этом случае является оптимальным? Объясните, почему для обоснования основных свойств водного раствора гидроксилamina можно также использовать значение рН соли гидроксилamina?

19. К водным растворам гидроксилamina или соли гидроксилamina прилейте йодной воды, подкисленный разбавленной серной кислотой раствор перманганата калия. Что наблюдаете в обоих случаях?

20. В подкисленный разбавленной серной или соляной кислотой раствор гидразина опустите гранулу цинка. Состав про-

дуктов докажете, выполнив соответствующую качественную реакцию.

21. В подкисленный разбавленной серной или соляной кислотой раствор гидросиламина опустите гранулу цинка. Состав продуктов докажете, выполнив соответствующую качественную реакцию.

22. Приготовьте реактив Несслера. Для этого в пробирку налейте 1—2 мл раствора нитрата ртути (II), добавьте по каплям раствор йодида калия вначале до выпадения осадка, а затем его полного растворения. К полученному раствору прибавьте несколько капель 2 моль/л раствора гидроксида калия. Стекланную палочку смочите водным раствором аммиака или соли аммония и опустите в реактив Несслера. Что наблюдаете?

Задания для самостоятельной работы и теоретического обсуждения эксперимента

1. Рассмотрите строение соединений азота и объясните их свойства.

1.1. Обсудите энергию одинарной, двойной и тройной связей азот — азот. Каковы причины меньшей прочности σ -связи по сравнению с π -связью между атомами азота? Назовите соединения, содержащие связи азот — азот различной кратности. Предскажите устойчивость этих соединений. Сформулированные выводы подтвердите соответствующими уравнениями химических реакций.

1.2. Между атомами каких элементов следует ожидать аналогичные закономерности? Приведите энергии этих связей и формулы соответствующих соединений. Какова их устойчивость? Сформулированные выводы подтвердите уравнениями химических реакций.

2. Сравните термодинамическую устойчивость аммиака и гидразина.

2.1. Рассчитайте, используя справочные данные, значения $\Delta_f H_{298}^0$, $\Delta_f S_{298}^0$ и $\Delta_f G_{298}^0$ для реакций синтеза аммиака и гидразина из простых веществ при стандартных условиях.

2.2. Как влияет температура на величины K_p и $\Delta_f G_T^0$, состояние равновесия и скорость протекания реакции синтеза аммиака?



2.3. Обоснуйте выбор условий, при которых осуществляется синтез аммиака в промышленности.

3. Охарактеризуйте кислотно-основные свойства водородных соединений азота.

3.1. Приведите уравнения реакций протолитических равновесий в водных растворах аммиака, гидразина и гидроксил-амин; укажите реакцию среды и условия смещения равновесия.

3.2. Приведите выражения и значения констант диссоциации водных растворов аммиака, гидразина и гидроксил-амин. Рассчитайте pH 0,1 моль/л водных растворов этих веществ.

3.3. Напишите уравнения реакций гидролиза хлоридов аммония, гидразиния и гидроксил-амин в молекулярной и ионно-молекулярной формах, укажите реакцию среды. Какая из солей наиболее гидролизована в водном растворе? Рассчитайте pH 0,1 моль/л водных растворов этих солей.

3.4. На основании справочных и полученных расчетных данных сформулируйте вывод, как меняется сила оснований в ряду NH_3 — N_2H_4 — NH_2OH .

4. Охарактеризуйте окислительно-восстановительные свойства водородных соединений азота:

4.1. Напишите возможные реакции окисления аммиака кислородом воздуха. Какая из приведенных реакций термодинамически наиболее вероятна в стандартных условиях; при высокой температуре (считая, что значения изменения энтальпии и энтропии не зависят от температуры)? Каким образом достигают окисления NH_3 до NO в промышленности?

4.2. Сравните значения стандартных окислительно-восстановительных потенциалов аммиака, гидразина и гидроксил-амин в кислой и щелочной средах. В какой среде аммиак проявляет более сильные восстановительные свойства? В какой среде гидразин и гидроксил-амин проявляют преимущественно окислительные; преимущественно восстановительные свойства? Приведите соответствующие уравнения реакций, рассчитайте их ЭДС и константы равновесия в стандартных условиях. Сформулируйте вывод о влиянии среды и силы окислителя на глубину протекания этих реакций. Сравните восстановительные свойства в ряду NH_3 — N_2H_4 — NH_2OH . Сравните окислительные свойства гидразина и гидроксил-амин.



Тема 3

ОКСИДЫ И КИСЛОТЫ АЗОТА — СИЛЬНЫЕ ОКИСЛИТЕЛИ.

ПРОДОЛЖАЕМ ИЗУЧАТЬ КОРРЕЛЯЦИИ СТРОЕНИЕ → СВОЙСТВА → ПРИМЕНЕНИЕ

**Вырабатываем собственную точку зрения:
темы учебно-исследовательских задач**

1. Оксиды азота. Химический и экологический аспекты.
2. Фотохимический смог. Химический и экологический аспекты.
3. Практически значимые химические и биохимические свойства азотистой кислоты и ее солей.
4. Свойства азотной кислоты и ее солей как основа их практического применения.

**Действуем самостоятельно:
экспериментальные задания по теме «Способы получения
и свойства кислородных соединений азота»**

Задания I уровня

1. Изучите способы получения оксида азота (I) и его физические свойства, наблюдаемые в эксперименте, проведите качественную пробу на оксид азота (I).
2. Изучите восстановительные свойства оксида азота (I).
3. Изучите способы получения оксида азота (II) и его физические свойства, наблюдаемые в эксперименте, проведите качественную пробу на оксид азота (II).
4. Изучите способы получения оксида азота (IV) и его физические свойства, наблюдаемые в эксперименте.



Задания II уровня

1. Исследуйте термическую устойчивость оксида азота (I). Сравните ее с термодинамической устойчивостью. Объясните полученный результат.

2. Исследуйте термическую устойчивость оксида азота (II). Сравните ее с термодинамической устойчивостью. Объясните полученный результат.

3. Исследуйте восстановительные свойства оксида азота (II).

4. Исследуйте кислотные свойства оксида азота (IV).

5. Исследуйте окислительно-восстановительные свойства нитрит-иона. Объясните их зависимость от pH среды.

6. Исследуйте окислительные свойства нитрат-иона.

7. Исследуйте термические свойства нитратов металлов. Сравните их с термодинамической устойчивостью. Объясните полученные результаты.

8. Исследуйте влияние природы восстановителя на окислительные свойства азотной кислоты.

9. Исследуйте окислительные свойства азотной кислоты различной концентрации.

Задания III уровня

1. Сравните термическую устойчивость оксидов азота (I) и (II). Объясните полученные результаты.

2. Сравните термодинамическую устойчивость оксидов азота (I) и (II). Объясните полученные результаты.

Рекомендуемые опыты

1. Изучите возможные установки для получения газов (см. тему 1) и выберите соответствующую для получения газа по следующей методике. В колбу Вюрца поместите приблизительно 10 мл насыщенного раствора нитрита натрия, а в капельную воронку — равный объем хлорида гидроксилamina. Осторожно прикапывайте по каплям хлорид гидроксилamina в колбу Вюрца. Если реакция не происходит, осторожно нагрейте колбу со смесью до температуры $t = 70^\circ\text{C}$. Соберите получившийся газ в пробирку и внесите в нее тлеющую лучину. Как отличить оксид азота (I) от кислорода?

2. Получите оксид азота (I) и пропустите его через разбавленный подкисленный серной кислотой раствор перманганата калия. Что наблюдаете?



3. Изучите возможные установки для получения газов (см. тему 1) и выберите соответствующую для получения газа по следующей методике. Эксперимент выполняйте в вытяжном шкафу. В одну пробирку или колбу Вюрца поместите стружку меди и прилейте 30—32%-ный раствор азотной кислоты. Закройте ее пробкой с газоотводной трубкой и, если необходимо, немного нагрейте. Соберите получившийся газ в пробирку и внесите в нее тлеющую лучину.

4. Получите оксид азота (II) и пропустите его через разбавленный подкисленный серной кислотой раствор перманганата калия. Что наблюдаете?

5. Получите оксид азота (II), соберите его в пробирку и наблюдайте происходящее на воздухе. Дайте теоретическое обоснование.

6. Налейте в пробирку 3—5 мл свежеприготовленного раствора соли Мора или сульфата железа (II). Раствор должен быть бесцветным. Получите оксид азота (II) и пропустите его через приготовленный раствор. Что наблюдаете?

7. Несколько капель разбавленного раствора нитрита калия (или натрия) подкислите разбавленной серной кислотой (почему не азотной или соляной?) и добавьте несколько кристаллов $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Отличаются ли типы этой и предыдущей реакций? Ответ обоснуйте.

8. В две пробирки налейте раствор нитрита калия или натрия, подкислите разбавленной серной кислотой (почему не азотной или соляной?). В одну пробирку налейте раствор перманганата калия, во вторую — йодида калия. Что наблюдаете? Почему все эксперименты необходимо проводить в кислой среде? Дайте теоретическое обоснование.

9. В три пробирки налейте по 3 мл раствора нитрита калия или натрия. В первую пробирку добавьте ~1,5 мл, во вторую — ~3 мл, а в третью — ~5 мл разбавленной серной кислоты. В каждую налейте по 3 мл раствора бромида калия и органический растворитель. Что наблюдаете? Дайте теоретическое обоснование.

10. Изучите возможные установки для получения газов (см. тему 1) и выберите соответствующую для получения газа по следующей методике. Эксперимент выполняйте в вытяжном шкафу. В пробирку или колбу Вюрца поместите стружку меди и прилейте концентрированную азотную кислоту. Закройте ее пробкой



с газоотводной трубкой и, если необходимо, немного нагрейте. Соберите получившийся газ.

11. Получите оксид азота (IV) и растворите его в холодной воде. Что наблюдаете? Определите pH образовавшегося водного раствора.

12. Получите оксид азота (IV) и растворите его в горячей воде. Что наблюдаете? Определите pH образовавшегося водного раствора после его охлаждения.

13. Эксперимент выполняйте в вытяжном шкафу. В три пробирки поместите гранулы, порошок или стружки цинка, железа и меди. Прилейте 30—32%-ный раствор азотной кислоты. Варьируя температуру реакционной смеси, установите оптимальные условия взаимодействия.

14. Эксперимент выполняйте в вытяжном шкафу. В три пробирки поместите гранулы, порошок или стружки цинка, железа и меди. Прилейте 3—5%-ный раствор азотной кислоты.

15. Эксперимент выполняйте в вытяжном шкафу. В фарфоровую чашку поместите немного красного фосфора и налейте несколько миллилитров концентрированной азотной кислоты. Смесь кипятите на водяной бане 7—10 минут, добавляя азотную кислоту по мере ее разложения. Охладите полученную смесь, разбавьте водой и докажите состав образовавшихся продуктов.

16. Эксперимент выполняйте в вытяжном шкафу. Получите осадок сульфида меди взаимодействием соли меди с сероводородной кислотой. Слейте декантацией надосадочную жидкость и разделите осадок на две части. К одной части добавьте 68%-ный, а к другой — 30—32%-ный раствор азотной кислоты.

17. Эксперимент выполняйте в вытяжном шкафу. В три пробирки налейте немного 68%-ной, 30—32%-ной и 3—5%-ной азотной кислоты. В каждую из пробирок добавьте несколько капель раствора йодида калия (или натрия).

18. Поместите в пробирку немного алюминия или цинка, добавьте 30%-ный раствор щелочи и затем раствор нитрата калия или натрия. Что наблюдаете? Докажите состав продукта восстановления нитрат-иона. Можно ли вместо алюминия и цинка использовать другие металлы? Если да, то какие?

19. Эксперимент выполняйте в вытяжном шкафу. Поместите в две пробирки небольшое количество твердых нитрата калия и нитрата свинца. Нагрейте пробирки и докажите состав образующихся газообразных и твердых продуктов.

20. Эксперимент выполняйте в вытяжном шкафу. Капните концентрированную азотную кислоту на яичный белок. Что произойдет, если концентрированная азотная кислота попадет на кожу человека?

Задания для самостоятельной работы и теоретического обсуждения эксперимента

1. Охарактеризуйте термодинамическую устойчивость оксидов азота при различных температурах.

1.1. Приведите значения $\Delta_f H_{298}^0$ и $\Delta_f S_{298}^0$ реакций получения оксидов азота из простых веществ. Полагая, что в интервале температур 298—2000 К значения изменений энтальпии и энтропии реакции мало зависят от температуры, постройте график зависимости $\Delta_f G_f^0 = f(T)$ для каждого из оксидов.

1.2. Какие условия необходимы для окисления молекулярного азота кислородом?

1.3. Какой из оксидов может образоваться при непосредственном окислении азота кислородом? Каков выход этого продукта? Можно ли утверждать, что азот реагирует с кислородом? Можно ли эту реакцию считать способом получения этого оксида?

1.4. Приведите уравнения реакций промышленных и лабораторных способов получения оксидов азота.

2. Охарактеризуйте кислотно-основные свойства оксидов азота.

2.1. Оксиды N_2O и NO иногда называют «безразличными» оксидами. Какой смысл вкладывают в этот термин? Можно ли назвать «безразличным» оксид NO_2 и почему?

2.2. Напишите возможные реакции взаимодействия оксидов азота с водой и щелочью и укажите условия их протекания.

3. Охарактеризуйте окислительно-восстановительные свойства оксидов азота.

3.1. Рассмотрите строение оксидов азота и сформулируйте вывод об их устойчивости? Сопоставьте полученные выводы со значениями $\Delta_f G_{298}^0$ образования и объясните полученные корреляции. Какой из оксидов обладает наиболее сильными окислительными свойствами? Приведите соответствующие уравнения реакций и их значения $\Delta_f G_{298}^0$.



3.2. Какие оксиды могут проявлять восстановительные свойства в растворе? В газовой фазе? В подтверждение ответа приведите уравнения возможных реакций и соответствующие количественные характеристики.

4. Сравните кислотные свойства азотистой и азотной кислот. В подтверждение ответа приведите уравнения соответствующих реакций и значения констант диссоциации.

5. Установите корреляцию между строением и окислительно-восстановительными свойствами на примере кислородных соединений азота.

5.1. Объясните различие в строении азотистой кислоты и нитрит-иона. Сравните их устойчивость и окислительно-восстановительные свойства. Полученный вывод подтвердите значениями стандартных окислительно-восстановительных потенциалов азотистой кислоты в кислой и нитрит-иона в щелочной средах. Приведите примеры реакций, иллюстрирующие окислительные и восстановительные свойства, а также примеры диспропорционирования иона NO_2^- . Рассчитайте ЭДС и константы равновесия приведенных реакций в стандартных условиях и сформулируйте вывод о глубине их протекания. В какой среде азотистая кислота и ее соли проявляют преимущественно окислительные, а в какой — преимущественно восстановительные свойства?

5.2. Объясните различие в строении азотной кислоты и нитрат-иона. Сравните их устойчивость и окислительные свойства.

5.3. Какие из соединений азота могут получаться в качестве продуктов при восстановлении азотной кислоты металлами, неметаллами, сложными веществами?

5.4. Как влияет концентрация азотной кислоты на ее окислительные свойства? В подтверждение ответа рассчитайте значения окислительно-восстановительных потенциалов полуреакции $\text{NO}_3^- + 10\text{H}^+ + 8e^- \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + 3\text{H}_2\text{O}$ при концентрациях $[\text{H}^+]$, равных 1, 0,1 и 0,01 моль/л.

5.5. Как влияет активность металлов на характер продуктов их взаимодействия с азотной кислотой? Напишите уравнения возможных реакций взаимодействия цинка и меди с 3—5%-ной, 30—32%-ной и 68%-ной азотной кислотой. Какие металлы реагируют с азотной кислотой по аналогии с цинком, с медью?

5.6. Как влияет активность неметаллов на характер продуктов их взаимодействия с азотной кислотой? Как влияет концентрация азотной кислоты на характер продуктов? Напишите уравнения реакций взаимодействия серы с HNO_3 разной концентрации. Какие неметаллы реагируют с азотной кислотой по аналогии с серой?

5.7. Какие сложные вещества реагируют с азотной кислотой? Как влияет концентрация азотной кислоты на характер продуктов? Напишите уравнения реакций взаимодействия сероводорода с HNO_3 разной концентрации. Какие сложные вещества реагируют с азотной кислотой по аналогии с сероводородом?

5.8. При каких условиях нитраты щелочных элементов проявляют окислительные свойства? Напишите соответствующие уравнения реакций.

5.9. Сравните окислительные свойства азотистой и азотной кислот, нитритов и нитратов щелочных элементов. Напишите соответствующие уравнения реакций.

6. Назовите продукты термоллиза нитратов элементов-металлов различной активности. Напишите уравнения реакций термического разложения нитратов магния и меди. Какие справочные данные необходимы для мотивированного ответа? Нитраты каких элементов-металлов можно использовать для получения NO_2 , оксидов металлов? Ответ подтвердите расчетом.



Тема 4

ФОСФОР В СОВРЕМЕННОЙ ХИМИИ И ТЕХНОЛОГИИ. ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И МНОГООБРАЗИЕ КИСЛОРОДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ФОСФОРА

**Вырабатываем собственную точку зрения:
темы учебно-исследовательских задач**

1. Почему фосфор называют «элементом жизни»?
2. Галогениды азота и фосфора. Валентные возможности и степени окисления. Сравнительное исследование их строения и свойств.
3. Свойства ортофосфорной кислоты и ее солей как основа их практического применения.
4. Особенности структурной химии фосфорных кислот и их солей.

**Действуем самостоятельно:
экспериментальные задания по теме
«Способы получения и свойства соединений фосфора (V)»**

Задания I уровня

1. Изучите восстановительные свойства красного фосфора, докажете кислотные свойства образующихся продуктов и состав жидкой фазы.
2. Изучите способы получения оксида фосфора (V).
3. Изучите качественные реакции на метафосфат-ион.
4. Изучите качественные реакции на пиропфосфат-ион.
5. Изучите качественные реакции на ортофосфат-ион.

Задания II уровня

1. Исследуйте способы получения метафосфорной кислоты.
2. Исследуйте растворимость оксида фосфора (V) в воде при различных условиях.

3. Исследуйте кислотные свойства оксида фосфора (V).
4. Исследуйте всеми возможными способами особенность протолитических равновесий в водном растворе дигидрофосфата натрия.
5. Исследуйте растворимость металлов в средних и кислых фосфатах щелочных элементов.
6. Исследуйте способы получения и растворимость среднего и кислых ортофосфатов кальция.
7. Исследуйте процесс термоллиза кислых ортофосфатов натрия.

Задания III уровня

1. Сравните качественные реакции на метафосфорную, пирофосфорную и ортофосфорную кислоты. Как их различить, используя минимальное количество реактивов?
2. Определите степень гидролиза, константу равновесия и изменение энергии Гиббса реакций гидролиза гидрофосфата и среднего фосфата калия или натрия по первой ступени.
3. Вам даны 3 стакана без подписей, в которых содержатся растворы среднего и кислых ортофосфатов натрия. Определите, какая соль содержится в каждом стакане.

Рекомендуемые опыты

1. Эксперимент выполняйте в вытяжном шкафу. В пробирку поместите одну крупинку красного фосфора и добавьте 3—4 мл концентрированной азотной кислоты. Пробирку со смесью осторожно нагрейте. После появления признака реакции нагревание прекратите. Что наблюдаете? Если фосфор полностью не прореагировал, слейте надосадочную жидкость в другую пробирку методом декантации и добавьте равный объем гептамолибдата аммония. Содержимое этой пробирки немного подогрейте.
2. Эксперимент выполняйте в вытяжном шкафу. Небольшое количество красного фосфора положите на керамическую плитку и подожгите его. Накройте горящий фосфор большой воронкой, подложив под ее край спичку (зачем?). Отверстие воронки закройте кусочком ваты (зачем?). Что наблюдаете?
3. Получите оксид фосфора (V), растворите его в воде и добавьте индикатор. Предложите индикаторы, которые можно использовать в этом эксперименте. Какой из них является оптимальным?



4. Получите оксид фосфора (V) или используйте готовый препарат, имеющийся в лаборатории. Осторожно растворите его в небольшом количестве холодной воды. Содержимое пробирки разделите на 2 части. Докажите состав образовавшегося раствора в первой пробирке. Для этого добавьте по каплям раствор белка до появления признака реакции. Вторую пробирку оставьте до конца занятия. Повторите эксперимент, растворяя оксид фосфора (V) в большом объеме холодной воды, различных объемах горячей воды. Сравните наблюдения. В конце занятия во вторых пробирках докажите состав растворов. Сравните все наблюдения и дайте теоретическое обоснование.

5. Получите оксид фосфора (V) или используйте готовый препарат, имеющийся в лаборатории. Осторожно растворите его в небольшом количестве холодной воды. Докажите состав образовавшегося раствора. Для этого отлейте в пробирку 2—3 мл полученного раствора, добавьте несколько капель нитрата серебра, а затем осторожно по стенке прилейте разбавленный водный раствор аммиака так, чтобы жидкости не смешивались. Что наблюдаете? Сформулируйте оптимальные условия проведения этой качественной реакции.

6. Налейте в одну пробирку раствор метафосфорной кислоты (подумайте, сколько?) или получите ее самостоятельно (как?). Добавьте равный объем раствора белка. Что наблюдаете? Налейте в другую пробирку 1—2 мл раствора метафосфата натрия, а затем равный объем белка. Что наблюдаете? Сравните ваши наблюдения. Во вторую пробирку добавьте раствор уксусной кислоты. Что теперь наблюдаете? Объясните полученные результаты.

7. Налейте в пробирку 1—2 мл раствора пирофосфата натрия, а затем несколько капель нитрата серебра. Что наблюдаете?

8. Налейте в пробирку 1—2 мл раствора пирофосфата натрия, а затем равный объем раствора белка. Что наблюдаете? Добавьте раствор уксусной кислоты. Что теперь наблюдаете? Объясните полученные результаты.

9. Налейте в пробирку 1—2 мл раствора ортофосфата натрия, а затем несколько капель нитрата серебра. Что наблюдаете?

10. Налейте в одну пробирку раствор ортофосфорной кислоты (подумайте, сколько?). Добавьте равный объем раствора белка. Что наблюдаете? Налейте в другую пробирку 1—2 мл раствора ортофосфата натрия, а затем равный объем белка.



Что наблюдаете? Сравните наблюдения. Во вторую пробирку добавьте раствор уксусной кислоты. Что теперь наблюдаете? Объясните полученные результаты.

11. Получите оксид фосфора (V) и осторожно растворите его в небольшом объеме разбавленного раствора щелочи. Полученный раствор разделите на несколько пробирок и добавляйте в них увеличивающийся объем щелочи. Какие продукты при этом могут образовываться? Проведите соответствующие качественные реакции и докажите состав образовавшихся продуктов в пробирках с разным количеством щелочи.

12. Налейте в три пробирки по 1—2 мл растворов ортофосфата, гидрофосфата и дигидрофосфата натрия, добавьте равный объем раствора гептамолибдата аммония. Полученные смеси подкислите азотной кислотой и нагрейте. Что наблюдаете? Добавьте избыток раствора азотной кислоты. Объясните наблюдаемое. Проведите аналогичный эксперимент с ортофосфорной кислотой. Сравните ваши наблюдения и сделайте вывод.

13. Налейте в пробирку 1—2 мл раствора хлорида магния, добавьте раствор аммиака до появления осадка, а затем — хлорида аммония до его полного растворения. Как называется полученная смесь? Добавьте раствор ортофосфата (или гидрофосфата, дигидрофосфата) натрия до появления признака реакции. Что наблюдаете?

14. Предварительно с помощью рН-метра определите рН дистиллированной воды (рН должен быть не менее 6,2). В мерных колбах емкостью 100 мл приготовьте 0,1 моль/л водные растворы гидро-, дигидро- и ортофосфата натрия. Определите рН приготовленных растворов. Объясните наблюдаемые результаты.

15. В три стаканчика налейте растворы дигидрофосфата, гидрофосфата и ортофосфата натрия (подумайте, сколько?). Определите рН растворов с помощью рН-метра. В каждый стаканчик прилейте равный объем раствора хлорида кальция. Снова определите рН растворов. Запишите ваши наблюдения и объясните их. Исследуйте растворимость полученных осадков в уксусной и соляной кислотах.

16. В пробирку налейте раствор ортофосфата натрия (подумайте, сколько?) и опустите стружку алюминия. Что наблюдаете? Если реакция не протекает, подогрейте реакционную смесь на водяной бане. Повторите эксперимент с растворами гидро- и дигидрофосфата натрия. Сравните ваши наблюдения. Дайте



теоретическое обоснование. Какие еще металлы могут быть использованы в этом эксперименте?

17. В пробирку налейте раствор дигидрофосфата натрия (подумайте, сколько?) и добавьте порошок магния. Что наблюдаете? Если реакция не протекает, подогрейте реакционную смесь на водяной бане. Повторите эксперимент с растворами гидро- и ортофосфата натрия. Сравните ваши наблюдения. Дайте теоретическое обоснование. Предложите три варианта написания уравнений реакций. Какие еще металлы могут быть использованы в этом эксперименте?

18. Прокалите в пламени газовой горелки фарфоровый тигель с небольшим количеством кристаллов гидрофосфата натрия. Реакцию разложения необходимо довести до конца, до стадии плавления. Плав охладите и растворите в воде. Докажите состав образовавшегося продукта. Прodelайте аналогичный эксперимент с дигидрофосфатом натрия.

Задания для самостоятельной работы и теоретического обсуждения эксперимента

1. Оцените термодинамическую вероятность двух возможных направлений протекания реакции.

1.1. Напишите уравнения реакций диспропорционирования белого фосфора в растворе щелочи до фосфина и гипофосфита; водорода и гипофосфита.

1.2. Рассчитайте значения $\Delta_r G_{298}^0$ этих реакций. Какая из реакций термодинамически наиболее вероятна?

1.3. Какова степень чистоты фосфина, получаемого по реакции взаимодействия белого фосфора со щелочью?

2. Сравните термодинамическую устойчивость аммиака и фосфина.

2.1. Рассчитайте, используя справочные данные, значения $\Delta_r H_{298}^0$, $\Delta_r S_{298}^0$ и $\Delta_r G_{298}^0$ для реакций синтеза аммиака и фосфина из простых веществ при стандартных условиях.

2.2. Объясните различие в устойчивости аммиака и фосфина, используя значения длины и энергии связей, валентного угла.

2.3. Как изменение устойчивости фосфина проявляется в его восстановительных свойствах? В подтверждение ответа



приведите соответствующие уравнения реакций. Как протекают аналогичные реакции для аммиака?

3. Охарактеризуйте окислительно-восстановительные свойства фосфорноватистой и фосфористой кислот.

3.1. Сравните значения стандартных окислительно-восстановительных потенциалов фосфорноватистой кислоты в кислой и гипофосфит-иона в щелочной средах. В какой среде фосфорноватистая кислота и ее соли проявляют преимущественно восстановительные, преимущественно окислительные свойства? Приведите соответствующие уравнения реакций и рассчитайте их ЭДС в стандартных условиях.

3.2. Сравните значения стандартных окислительно-восстановительных потенциалов фосфористой кислоты в кислой и фосфит-иона в щелочной средах. В какой среде фосфористая кислота и ее соли проявляют преимущественно восстановительные, преимущественно окислительные свойства? Приведите соответствующие уравнения реакций и рассчитайте их ЭДС в стандартных условиях.

4. Охарактеризуйте кислотно-основные свойства оксидов и галогенидов фосфора.

4.1. Напишите уравнения реакций взаимодействия оксида фосфора (III) с холодной и горячей водой. Какая из этих реакций позволяет отнести оксид фосфора (III) к кислотным оксидам? Ответ обоснуйте.

4.2. Какие продукты могут образоваться при растворении оксида фосфора (V) в воде? Напишите соответствующие уравнения реакций и укажите условия их протекания.

4.3. Сравните гидролизруемость PCl_3 и PCl_5 ; в ряду PF_3 — PCl_3 — PBr_3 — PI_3 . Какой из галогенидов гидролизруется легче и почему? Какие из галогенидов можно использовать для получения кислот? Ответ обоснуйте.

5. Рассмотрите строение кислородных кислот фосфора с позиций метода валентных связей и объясните их свойства.

5.1. Что такое d_π — p_π -связывание и как оно влияет на строение кислородных кислот фосфора? Чему равны координационное число, валентность и степень окисления фосфора? Укажите тип гибридизации атомных орбиталей фосфора. Определите основность фосфорных кислот. Объясните многообразие образуемых фосфором кислот.

5.2. Как меняется сила кислот в ряду H_3PO_2 — H_3PO_3 — H_3PO_4 ? Приведите значения соответствующих первых кон-



стант диссоциации. Выполняется ли в данном случае правило, что с ростом степени окисления сила кислот увеличивается? Дайте теоретическое обоснование.

5.3. Как и почему меняется устойчивость в ряду кислот H_3PO_2 — H_3PO_3 — H_3PO_4 ? В подтверждение ответа приведите соответствующие уравнения реакций.

5.4. Как изменение устойчивости влияет на восстановительные свойства фосфористой и фосфорноватистой кислот? В подтверждение ответа приведите значения соответствующих стандартных окислительно-восстановительных потенциалов и уравнения реакций.



Тема 5

МЫШЬЯК — СУРЬМА — ВИСМУТ: ОТ НЕМЕТАЛЛА К МЕТАЛЛУ. ИЗУЧАЕМ ХАРАКТЕРНЫЕ ПРИЗНАКИ

**Вырабатываем собственную точку зрения:
темы учебно-исследовательских задач**

1. Изменение кислотных и окислительных свойств в ряду кислородных соединений $N(V) — P(V) — As(V) — Sb(V) — Bi(V)$ — есть ли корреляция?
2. Мышьяковистая кислота или гидроксид мышьяка (III)? Как правильно?
3. Из какой руды выгоднее получать мышьяк?
4. Что такое сплавы? Важнейшие сплавы сурьмы и висмута.
5. Биохимические свойства мышьяка и его соединений, или история всемирных отравлений.

**Действуем самостоятельно:
экспериментальные задания по теме «Способы получения
и свойства сурьмы, висмута и их соединений»**

Задания I уровня

1. Изучите химические свойства металлической сурьмы.
2. Изучите условия получения гидроксида сурьмы (III).
3. Изучите способы получения сурьмяной кислоты и выберите оптимальный из них в лабораторных условиях.
4. Изучите окислительные свойства сурьмяной кислоты.
5. Изучите способы получения висмутата калия.
6. Изучите окислительные свойства висмутата калия.

Задания II уровня

1. Исследуйте кислотно-основные свойства гидроксида сурьмы (III).



2. Исследуйте окислительно-восстановительные свойства гидроксида сурьмы (III).
3. Исследуйте влияние кислотности среды на окислительно-восстановительные свойства сурьмы (III).
4. Исследуйте условия получения сульфида сурьмы (III) и предложите оптимальный способ в лабораторных условиях. Изучите физические свойства сульфида сурьмы (III), наблюдаемые в эксперименте.
5. Исследуйте кислотно-основные свойства сульфида сурьмы (III).
6. Исследуйте восстановительные свойства сульфида сурьмы (III).
7. Исследуйте кислотно-основные свойства сурьмяной кислоты.
8. Исследуйте условия получения гидроксида висмута (III).
9. Исследуйте кислотно-основные свойства гидроксида висмута (III).
10. Исследуйте особенности гидролиза галогенидов сурьмы (III) и висмута (III). Сравните условия их обратимости.
11. Исследуйте окислительно-восстановительные свойства гидроксида висмута (III).
12. Исследуйте условия получения сульфида висмута (III) и изучите его физические свойства, наблюдаемые в эксперименте.
13. Исследуйте кислотно-основные свойства сульфида висмута (III).
14. Исследуйте восстановительные свойства сульфида висмута (III).

Задания III уровня

1. Исследуйте кислотно-основные свойства соединений сурьмы (III).
2. Исследуйте восстановительные свойства соединений сурьмы (III).
3. Сравните кислотно-основные свойства гидроксида сурьмы (III) и сурьмяной кислоты.
4. Сравните условия получения гидроксидов сурьмы (III) и висмута (III).
5. Сравните кислотно-основные свойства гидроксидов сурьмы (III) и висмута (III).

6. Сравните условия получения сульфидов сурьмы (III) и висмута (III).
7. Сравните кислотно-основные свойства сульфидов сурьмы (III) и висмута (III).
8. Сравните восстановительные свойства сульфидов сурьмы (III) и висмута (III).
9. Сравните кислотно-основные свойства соединений сурьмы (III) и висмута (III).
10. Сравните восстановительные свойства соединений сурьмы (III) и висмута (III).
11. Предложите методику приготовления раствора нитрата висмута (III).
12. Сравните окислительные свойства сурьмяной кислоты и висмутата калия.

Рекомендуемые опыты

1. В пробирку поместите немного металлической сурьмы и добавьте по каплям концентрированной азотной кислоты. Что наблюдаете?
2. К раствору хлорида сурьмы (III) прилейте раствор карбоната натрия до слабощелочной реакции (почему не гидроксида натрия?). Нагрейте раствор до полного удаления углекислого газа. Охладите реакционную смесь и слейте избыточную жидкость путем декантации.
3. Получите гидроксид сурьмы (III), разделите его на 5 пробирок. В первую прилейте воды; во вторую — разбавленный раствор соляной кислоты сначала в недостатке, потом в избытке; в третью — концентрированный раствор соляной кислоты сначала в недостатке, потом в избытке; в четвертую — разбавленный раствор гидроксида калия или натрия сначала в недостатке, потом в избытке; в пятую — концентрированный раствор гидроксида калия или натрия сначала в недостатке, потом в избытке. Что наблюдаете?
4. Получите гидроксид сурьмы (III), растворите его в избытке раствора гидроксида калия или натрия и прилейте раствор нитрата серебра до появления признака реакции.
5. В раствор хлорида сурьмы (III) опустите очищенный железный гвоздь или скрепку. Что наблюдаете? Докажите состав образовавшегося раствора. Какие еще металлы могут быть использованы? Проведите этот эксперимент.



6. Получите сурьмяную кислоту и разделите ее на 2 пробирки. К содержимому первой пробирки прилейте избыток раствора гидроксида калия или натрия, а второй — избыток концентрированной соляной кислоты (почему не серной или азотной?). Варьируйте концентрацию и количества растворов.

7. Получите сурьмяную кислоту, растворите ее в избытке концентрированной соляной кислоты и добавьте раствор йодида калия и крахмала (зачем?).

8. В пробирку налейте раствор хлорида сурьмы (III). Определите его pH с помощью универсальной индикаторной бумаги. Прилейте сероводородную кислоту сначала в недостатке и определите pH, потом — в избытке, и снова определите pH.

9. Получите сульфид сурьмы (III) и разделите его на 3 пробирки. В первую добавьте раствор сульфида калия, натрия или аммония; во вторую — раствор щелочи; в третью — раствор карбоната калия или натрия. Варьируйте количества растворов и порядок сливания. Что наблюдаете? Прилейте в каждую из пробирок избыток раствора соляной кислоты. Объясните наблюдаемое.

10. Получите сульфид сурьмы (III) и разделите на 2 пробирки. В первую добавьте раствор дисульфида калия, натрия или аммония, а во вторую — концентрированной азотной кислоты. Что наблюдаете? Затем в первую пробирку прилейте избыток раствора соляной кислоты. Варьируйте количества растворов и порядок сливания. Объясните наблюдаемое.

11. Налейте в пробирку 1 мл раствора хлорида сурьмы (III). Прилейте избыток воды до появления признака реакции, а затем — концентрированной соляной кислоты. Отлейте в другую пробирку 1 мл полученного раствора и снова добавьте избыток воды, а потом соляной кислоты. Сколько раз можно проделать этот эксперимент? Объясните наблюдаемое.

12. К раствору соли висмута (III) прилейте раствор гидроксида калия или натрия, взятые сначала в недостатке, а потом в избытке. Повторите эксперимент, изменив порядок сливания. Что наблюдаете? Какие условия оптимальным образом отвечают цели вашего задания?

13. Получите гидроксид висмута (III). Разделите его на 2 пробирки. В одну прилейте избыток кислоты (какой?), а в другую — избыток щелочи. Варьируйте количества растворов и порядок сливания. Объясните наблюдаемое.



14. Небольшое количество нитрата висмута (III) растворите в воде. Что наблюдаете? Добавьте концентрированной азотной кислоты, потом снова избыток воды. Сколько раз можно проделать этот эксперимент? Объясните наблюдаемое.

15. В пробирку налейте раствор соли висмута (III). Определите его pH с помощью универсальной индикаторной бумаги. Прилейте сероводородную кислоту сначала в недостатке и определите pH, потом в избытке, и снова определите pH.

16. Получите сульфид висмута (III) и добавьте раствор сульфида калия, натрия или аммония. Варьируйте количества растворов и порядок сливания.

17. Получите сульфид висмута (III) и добавьте концентрированной соляной кислоты. Варьируйте количества растворов и порядок сливания.

18. Получите сульфид висмута (III) и добавьте раствор дисульфида калия, натрия или аммония. Варьируйте количества растворов и порядок сливания.

19. Получите гидроксид висмута (III) и добавьте кристаллический пероксодисульфат калия или 2—3 мл его насыщенного раствора. Что наблюдаете?

20. Получите висмутат калия, добавьте 2 мл раствора серной или азотной кислоты и 1—2 капли (почему?) раствора сульфата марганца (II). Что наблюдаете?

Задания для самостоятельной работы и теоретического обсуждения эксперимента

1. Проиллюстрируйте изменение неметаллических и металлических свойств простых веществ в ряду $P — As — Sb — Bi$:
— на примере изменения межъядерных расстояний устойчивых при обычных условиях модификаций;

— на примере их взаимодействия с разбавленной (30—32 %) и концентрированной (68 %) азотной кислотой.

2. Охарактеризуйте кислотно-основные свойства соединений мышьяка, сурьмы и висмута (III).

2.1. Напишите возможные уравнения реакций взаимодействия оксидов мышьяка, сурьмы и висмута (III) с гидроксидом натрия и соляной кислотой. Какая из функций — кислотная или основная — преобладает у каждого из оксидов?

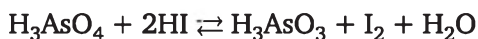


2.2. Напишите возможные уравнения реакций взаимодействия сульфидов мышьяка, сурьмы и висмута (III) с гидроксидом, карбонатом, сульфидом натрия и соляной кислотой. Какая из функций — кислотная или основная — преобладает у каждого из сульфидов?

2.3. Сравните гидролизуемость хлоридов фосфора (III), мышьяка (III), сурьмы (III) и висмута (III). Рассчитайте значения констант и $\Delta_r G_{298}^0$ их гидролиза. В каком случае гидролиз обратим, а в каком — протекает практически необратимо? Какие продукты образуются в каждом случае? Какой вывод можно сделать об изменении кислотно-основных свойств в ряду соединений фосфора (III), мышьяка (III), сурьмы (III) и висмута (III) по характеру гидролиза их хлоридов?

3. Охарактеризуйте окислительно-восстановительные свойства соединений мышьяка, сурьмы и висмута (III).

3.1. Рассчитайте ЭДС и константу равновесия реакции:



при концентрациях $[\text{H}^+] = 1,0$ и $0,1$ моль/л. Концентрации остальных веществ и ионов примите равными $1,0$ моль/л. В какой среде мышьяковистая кислота проявляет восстановительные свойства?

3.2. В какой среде соединения сурьмы (III) проявляют преимущественно восстановительные свойства? Какие окислители могут быть для этого использованы? Ответ проиллюстрируйте соответствующими уравнениями реакций.

3.3. Какие соединения висмута (III) и в какой среде могут проявлять восстановительные свойства? Какие окислители могут быть для этого использованы? Ответ проиллюстрируйте соответствующими уравнениями реакций.

3.4. Как изменяется восстановительная способность в ряду соединений $\text{P(III)} — \text{As(III)} — \text{Sb(III)} — \text{Bi(III)}$?

3.5. Проиллюстрируйте изменение окислительных свойств на примере взаимодействия оксидов мышьяка (III), сурьмы (III) и висмута (III) с углеродом. Ответ подтвердите соответствующими термодинамическими расчетами.

4. Рассмотрите строение мышьяковой кислоты и объясните ее свойства.

4.1. Почему мышьяк, в отличие от сурьмы и висмута, образует кислоту состава H_3AsO_4 подобно ортофосфорной кислоте?



4.2. Какова устойчивость, кислотные и окислительные свойства мышьяковой кислоты? Ответ подтвердите соответствующими справочными данными и уравнениями реакций.

4.3. Сравните константы диссоциации мышьяковистой и мышьяковой кислот. Как меняется сила кислот мышьяка с увеличением степени окисления центрального атома? Выполняется ли в этом случае правило: с ростом степени окисления сила кислот увеличивается?

5. Охарактеризуйте окислительные свойства соединений мышьяка (V), сурьмы (V) и висмута (V).

5.1. Напишите уравнения реакций взаимодействия соединений мышьяка (V), сурьмы (V) и висмута (V) с сероводородной кислотой. Какой сульфид — $\text{Э}_2\text{S}_3$ или $\text{Э}_2\text{S}_5$ — образуется в каждой из реакций? В какой среде они протекают и почему?

5.2. Как изменяется окислительная способность в ряду $\text{P(V)} \text{ — As(V) — Sb(V) — Bi(V)}$? В обоснование ответа приведите значения E_{298}^0 соответствующих полуреакций и полные уравнения окислительно-восстановительных реакций.



Тема 6

НАСЫЩАЕМОСТЬ, ВАЛЕНТНОСТЬ И СТЕПЕНЬ ОКИСЛЕНИЯ: ЧТО ОПРЕДЕЛЯЕТ СВОЙСТВА СОЕДИНЕНИЙ УГЛЕРОДА?

**Вырабатываем собственную точку зрения:
темы учебно-исследовательских задач**

1. Адсорбция или абсорбция. Какими свойствами обладает активированный уголь?
2. Какие свойства углекислого газа являются основой его практического применения?
3. Углекислый газ и климат.
4. Соединения углерода с серой — аналоги кислородных соединений?
5. Многообразие тиокарбонатов — многообразие практического применения.
6. Вискозное волокно — натуральное или искусственное?
7. Псевдогалогены. Строение → свойства → применение.
8. Комплексные цианиды и комплексные роданиды. Сравнительный анализ.
9. Поликарбонаты, полиуретаны, циануровая кислота... — неорганические или органические соединения углерода? Взгляд неорганика.

**Действуем самостоятельно: экспериментальные задания
по теме «Способы получения и свойства углерода
и его кислородных соединений»**

Задания I уровня

1. Изучите способы получения оксида углерода (II) и предложите оптимальный в лабораторных условиях.
2. Изучите способы получения оксида углерода (IV) и предложите оптимальный для получения малых и больших количеств в лабораторных условиях.

3. Изучите относительную плотность оксида углерода (IV) по воздуху.
4. Изучите способы получения и свойства гидрокарбонатов щелочноземельных элементов.
5. Изучите термоллиз гидрокарбоната натрия.
6. Изучите качественную реакцию на углекислый газ.
7. Изучите качественную реакцию на карбонат-ион.

Задания II уровня

1. Исследуйте восстановительные свойства аморфного углерода.
2. Исследуйте восстановительные свойства оксида углерода (II).
3. Исследуйте влияние силы оснований металлов на характер продуктов реакций взаимодействия их солей с карбонатом натрия.

Задания III уровня

1. Сравните адсорбционные свойства активированного угля в растворах органических и неорганических веществ.
2. Исследуйте кислотные свойства оксида углерода (IV). План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.
3. Не пользуясь рН-метром и индикаторными бумагами, докажите, что раствор карбоната натрия имеет сильнощелочную реакцию среды.
4. Определите степень, константу и изменение энергии Гиббса реакций гидролиза карбоната натрия по первой стадии и гидрокарбоната натрия.

Рекомендуемые опыты

1. В стакан или колбу налейте 50 мл воды и добавьте несколько капель красителя (лакмуса, фуксина, чернил для ручки или кристаллического фиолетового). Приготовленный раствор пропустите через колонку, заполненную активированным углем. Можно в приготовленный раствор насыпать немного активированного угля, перемешать и дать отстояться.
2. Пропустите через колонку, заполненную активированным углем, окрашенные растворы неорганических солей: железа (III), меди (II), кобальта (II) или никеля (II). Можно в растворы солей насыпать немного активированного угля, перемешать и дать отстояться.



3. Эксперимент выполняйте в вытяжном шкафу. В пробирку насыпьте немного растертого угля и добавьте концентрированной азотной кислоты. Закройте пробирку пробкой с газоотводной трубкой (подумайте, какой формы трубка вам понадобится), конец которой опустите в пробирку с раствором щелочи. Нагрейте реакционную смесь. Докажите состав раствора во второй пробирке. Для этого содержимое второй пробирки разделите на 2 части. К одной части добавьте раствор хлорида бария, а ко второй — подкисленный разбавленной серной кислотой раствор перманганата калия. Наличие какого из полученных продуктов вам не удалось доказать?

4. Изучите возможные установки для получения газов (см. тему 1) и выберите соответствующую для получения газа по следующей методике. Налейте в колбу 20 мл концентрированной серной кислоты, а в делительную воронку — 10 мл муравьиной кислоты. Колбу с серной кислотой нагрейте до температуры $t = 70 \div 80^\circ\text{C}$, после чего по каплям добавляйте муравьиную кислоту. Соберите получившийся газ.

5. Соберите соответствующую установку для получения оксида углерода (II). Подготовьте пробирку с аммиачным раствором оксида серебра, который получите следующим образом: налейте в пробирку 2—3 мл нитрата серебра, добавьте раствор щелочи до выпадения осадка, а затем — разбавленный раствор аммиака до растворения осадка. Налейте в колбу 20 мл концентрированной серной кислоты, а в делительную воронку — 10 мл муравьиной кислоты. Опустите наконечник газоотводной трубки в пробирку с аммиачным раствором оксида серебра. Колбу с серной кислотой нагрейте до температуры $t = 70 \div 80^\circ\text{C}$, после чего по каплям добавляйте муравьиную кислоту. Наблюдайте, что происходит в пробирке.

6. Соберите соответствующую установку для получения оксида углерода (II). Подготовьте пробирку с подкисленным разбавленной серной кислотой раствором перманганата калия. Налейте в колбу 20 мл концентрированной серной кислоты, а в делительную воронку — 10 мл муравьиной кислоты. Опустите наконечник газоотводной трубки в пробирку с раствором перманганата калия. Колбу с серной кислотой нагрейте до температуры $t = 70 \div 80^\circ\text{C}$, после чего по каплям добавляйте муравьиную кислоту. Наблюдайте, что происходит в пробирке.

7. Проведите реакцию взаимодействия мрамора с разбавленной (1:1) соляной кислотой в аппарате Киппа. В несколько



пробирок насыпьте твердых карбонатов натрия и кальция (порошкообразного и кусочками) и гидрокарбоната натрия, добавьте по каплям разбавленную соляную кислоту. Предложите оптимальные условия получения оксида углерода (IV) в больших и малых количествах.

8. Возьмите две пробирки. Наполните одну пробирку оксидом углерода (IV) из аппарата Киппа. Докажите, что пробирка полностью заполнена газом (как?). Держите ее вертикально дном вниз. Пробирку с воздухом держите вертикально дном вверх. Совместите отверстия двух пробирок и, придерживая, переверните их. Теперь пробирка с оксидом углерода (IV) должна располагаться дном вверх. Через 3—5 минут определите, в какой пробирке находится углекислый газ.

9. Возьмите два стакана. Один наполните оксидом углерода (IV) из аппарата Киппа. В другой стакан поместите вату, смоченную этиловым спиртом, и подожгите ее. Перелейте оксид углерода (IV) из первого стакана во второй. Что наблюдаете?

10. В две пробирки налейте растворы солей кальция и бария. Добавьте в каждую раствор карбоната натрия. Докажите состав образовавшихся продуктов. Для этого через содержимое каждой пробирки пропустите избыток оксида углерода (IV) до появления признака реакции, а затем нагрейте. В третью пробирку налейте 1 моль/л раствор сульфата меди (II) и добавьте 10%-ный избыток 1 моль/л раствора карбоната натрия. Оставьте пробирку на воздухе до полного протекания реакции. Отфильтруйте осадок и докажите его состав. В четвертую и пятую пробирки налейте растворы солей алюминия и хрома (III) и добавьте раствор карбоната натрия. Докажите состав образовавшихся продуктов. Для этого содержимое каждой пробирки разделите на две части. В одну добавьте разбавленной кислоты, а в другую — избыток разбавленного раствора щелочи.

11. В две пробирки налейте раствор соли кальция. В одну добавьте раствор карбоната, а в другую — раствор гидрокарбоната натрия. Докажите состав образовавшихся продуктов. Для этого в первую пробирку пропустите ток оксида углерода (IV) до появления признака реакции, затем содержимое разделите на две части. К одной части добавьте избыток гидроксида кальция, а вторую нагрейте. Содержимое второй пробирки также разделите на две части. К одной части добавьте избыток гидроксида кальция, а вторую нагрейте.



12. Налейте в стакан раствор гидроксида кальция и продуйте через него с помощью стеклянной трубочки выдыхаемый воздух. Что наблюдаете?

13. Налейте в пробирку раствор гидроксида кальция и пропустите через него ток оксид углерода (IV) до появления первого признака реакции. Отметьте ваши наблюдения. Затем продолжите пропускать ток оксид углерода (IV) до второго признака реакции. Отметьте снова ваши наблюдения. Полученный раствор разделите на две части. Одну из них нагрейте, а ко второй добавьте избыток раствора гидроксида кальция.

14. Насыпьте в пробирку кристаллического гидрокарбоната натрия. Пробирку закройте пробкой с газоотводной трубкой, конец которой опустите в раствор гидроксида кальция. Нагревайте пробирку до появления признака реакции.

15. Определите с помощью рН-метра значения рН 0,1 моль/л растворов карбоната и гидрокарбоната натрия.

16. Налейте в пробирку раствор карбоната натрия и опустите стружку алюминия. Если видимых изменений не происходит, нагрейте пробирку с реакционной смесью на водяной бане.

Задания для самостоятельной работы и теоретического обсуждения эксперимента

1. Рассмотрите строение аллотропных модификаций углерода и объясните их свойства.

1.1. Опишите строение алмаза, графита, карбина, фуллеренов, графена.

1.2. Приведите значения $\Delta_f H_{298}^0$, S_{298}^0 и $\Delta_f G_{298}^0$ алмаза и графита. Какая из этих модификаций термодинамически наиболее устойчива? Какое полиморфное превращение может протекать самопроизвольно при стандартных условиях? Приведите условия взаимного превращения модификаций

1.3. Чем объясняется различное поведение кристаллических и аморфных модификаций углерода в химических реакциях, например, по отношению ко фтору и кислотам-окислителям?

2. Охарактеризуйте восстановительные свойства углерода.

2.1. Рассчитайте значения $\Delta_r H_{298}^0$ и $\Delta_r S_{298}^0$ реакций получения оксидов углерода (II) и (IV) из простых веществ, используя справочные данные. Полагая, что в интервале темпера-

тур 298—2000 К изменение энтальпии и энтропии реакции мало зависит от температуры, постройте график зависимости $\Delta_r G_T^0 = f(t)$ для каждого из оксидов. Образование какого оксида — CO или CO₂ — наиболее вероятно при сгорании угля в указанном интервале температур при стандартных условиях?

2.2. Постройте аналогичный график зависимости для оксидов магния (II) и висмута (III).

2.3. Почему повышение температуры по-разному сказывается на характере изменения $\Delta_r G_T^0$ реакций синтеза оксидов металлов и оксидов углерода?

2.4. Почему при соответствующих условиях углерод может быть потенциальным восстановителем почти всех металлов из их оксидов? Сформулируйте правило выбора восстановителя в реакции получения металлов из их оксидов.

3. Рассмотрите строение оксида углерода (II) и объясните его свойства.

3.1. Обсудите строение молекулы оксида углерода (II). Приведите значения кратности, насыщенности, длины связи, дипольного момента молекулы. Объясните плохую растворимость оксида углерода (II) в воде. Предскажите его реакционную способность и возможные типы реакций.

3.2. Приведите уравнения реакций получения оксида углерода (II) в лабораторных условиях.

3.3. Объясните, почему оксид углерода (II) называют безразличным или несолеобразующим.

4. Рассмотрите строение кислородных соединений углерода (IV) и объясните их свойства.

4.1. Обсудите строение молекулы оксида углерода (IV). Приведите значения кратности, насыщенности, длины связи, валентного угла, дипольного момента молекулы, температуры сублимации. Объясните агрегатное состояние оксида углерода (IV) и его малую растворимость в воде. Предскажите реакционную способность оксида углерода (IV) и возможные типы реакций.

4.2. Опишите, что происходит при растворении CO₂ в воде. Приведите уравнения реакций и константы протолитических равновесий в водном растворе оксида углерода (IV). Укажите условия их смещения. Обсудите кислотные свойства угольной кислоты. Приведите соответствующие уравнения реакций.

4.3. Объясните, почему карбонаты щелочных элементов, в отличие от угольной кислоты, устойчивы в водных растворах?



4.4. Объясните, какие элементы образуют кислые карбонаты, какие — средние карбонаты, какие — основные карбонаты. Карбонаты каких элементов не могут существовать в водном растворе, но существуют в твердом виде? Карбонаты каких элементов не существуют ни в растворе, ни в твердом виде? Приведите способы получения различных карбонатов.

5. Рассмотрите строение соединений углерода с азотом и объясните их свойства.

5.1. Напишите электронную конфигурацию частицы CN по методу молекулярных орбиталей. Объясните легкость превращения CN в молекулу $(\text{CN})_2$ и цианид-ион CN^- .

5.2. Напишите электронную конфигурацию иона CN^- по методу молекулярных орбиталей. Между какими атомами — углеродом и водородом или азотом и водородом — возможно образование ковалентной связи? Какая формула циановодородной кислоты — H-CN или H-NC — наиболее вероятна? Напишите ее структурную формулу. Чему равны кратности связей, валентность и насыщаемость атомов? Приведите значение константы диссоциации циановодородной кислоты. Рассчитайте степень ее диссоциации в растворе с концентрацией 1 моль/л и объясните силу электролита.

5.3. Приведите значения электроотрицательности атомов водорода, углерода и азота. Какие степени окисления вы приписали бы этим атомам в циановодородной кислоте? Какие свойства — окислительные или восстановительные — характерны для циановодородной кислоты? В подтверждение ответа приведите соответствующие уравнения реакций и рассчитайте их ЭДС в стандартных условиях.

6. Охарактеризуйте свойства азотсодержащих соединений углерода как псевдогалогенов.

6.1. Почему дициан называют псевдогалогеном? Приведите соответствующие справочные данные и уравнения реакций.

6.2. Как и почему меняется сила кислот в ряду HCN — HNCO — HNCS ? Ответ подтвердите справочными данными.

6.3. Какие еще азотсодержащие соединения углерода относят к псевдогалогенам? Приведите соответствующие уравнения реакций.

7. Охарактеризуйте комплексообразующие свойства оксида углерода (II) и цианид-иона.

7.1. Опишите строение оксида углерода (II) и цианид-иона по методу молекулярных орбиталей. Чему равны длина, энергия



и насыщенность связей? Объясните термин «изоэлектронность». Приведите примеры молекул и ионов, состоящих из элементов второго периода Периодической системы Д. И. Менделеева, изоэлектронных оксиду углерода (II) и цианид-иону.

7.2. Чем обусловлена способность оксида углерода (II) и цианид-иона входить во внутренние координационные сферы комплексных соединений? Приведите формулы соответствующих соединений, способы их получения и константы устойчивости.



Тема 7

КРЕМНИЙ ТОЖЕ «ЛЮБИТ» КИСЛОРОД ИЛИ НЕОКИСЛИТЕЛЬНАЯ ХИМИЯ КРЕМНИЯ

**Вырабатываем собственную точку зрения:
темы учебно-исследовательских задач**

1. Кислородные соединения кремния — основная составная часть земной коры.
2. Что такое «стёкла», и какие они бывают?
3. Что такое «силиконы» и «силоксаны»? Их получение и практически значимые свойства.
4. Сравнительный анализ химии важнейших соединений углерода и кремния.
5. Сравнительный анализ химии важнейших соединений кремния и фосфора.
6. Соединения кремния (II). Сравнение с химией углерода (II).

**Действуем самостоятельно:
экспериментальные задания по теме «Способы получения
и свойства кремния и его кислородных соединений»**

Задания I уровня

1. Изучите восстановительные свойства кремния.
2. Изучите лабораторный способ получения золя кремниевых кислот.
3. Изучите особенности гидролиза метасиликата натрия.
4. Изучите лабораторный способ получения нерастворимых силикатов.
5. Изучите гидролиз обычного лабораторного стекла.

Задания II уровня

1. Исследуйте все возможные лабораторные способы получения гидрогеля кремниевых кислот и выберите оптимальный.



2. Исследуйте кислотные свойства гидрогеля и гидрозоля кремниевых кислот.

3. Исследуйте условия смещения равновесия гидролиза силиката натрия.

Задание III уровня

1. Сравните адсорбционные свойства силикагеля в растворах органических и неорганических веществ.

Рекомендуемые опыты

1. Небольшое количество аморфного кремния поместите в пробирку, прилейте 5 мл концентрированного раствора щелочи. Отметьте кинетику протекания реакции.

2. Налейте в пробирку 5 мл раствора силиката натрия, добавьте 2—3 капли раствора фенолфталеина (зачем?) и приливайте небольшими порциями разбавленный раствор соляной (серной, азотной) кислоты до бледно-малиновой окраски. После добавления каждой порции пробирку встряхивайте (зачем?). После появления признака реакции закройте пробирку пробкой и переверните ее вверх дном.

3. Налейте в пробирку 5 мл концентрированного раствора соляной (серной, азотной) кислоты, добавьте 1 мл раствора силиката натрия и осторожно нагрейте до появления признака реакции.

4. Получите в 4 пробирках небольшие количества геля кремниевых кислот. Добавьте в 2 пробирки разбавленного раствора щелочи, взятого в недостатке и в избытке. В 2 другие пробирки добавьте концентрированного раствора щелочи, взятого в недостатке и в избытке. Содержимое каждой пробирки перемешивайте стеклянной палочкой.

5. Получите в 4 пробирках небольшие количества золя кремниевых кислот. Добавьте в 2 пробирки разбавленного раствора щелочи, взятого в недостатке и в избытке. В 2 другие пробирки добавьте концентрированного раствора щелочи, взятого в недостатке и в избытке. Содержимое каждой пробирки перемешивайте стеклянной палочкой.

6. В пробирку налейте 1 мл раствора силиката натрия и с помощью универсальной индикаторной бумаги определите pH раствора.

7. В пробирку налейте 1—2 мл раствора силиката натрия и добавьте концентрированного раствора хлорида аммония. Что наблюдаете?



8. В пробирку налейте 1—2 мл раствора силиката натрия и пропустите ток оксида углерода (IV). Что наблюдаете?

9. В стакан емкостью 100 мл налейте 75 мл 20%-ного раствора силиката натрия и опустите в него по 2—3 кристалла $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Что можно наблюдать через 2—3 часа?

10. В фарфоровую ступку поместите несколько кусочков битого обычного лабораторного стекла, добавьте несколько капель дистиллированной воды. Разотрите стекло в порошок. Добавьте 2—3 капли раствора фенолфталеина.

11. В стакан или колбу налейте 50 мл воды и добавьте несколько капель красителя (индиго, лакмуса, фуксина, чернил для авторучки или кристаллического фиолетового). Приготовленный раствор пропустите через колонку, заполненную силикагелем. Можно в приготовленный раствор поместить немного силикагеля, перемешать и дать отстояться.

12. Пропустите через колонку, заполненную силикагелем, окрашенные растворы неорганических солей: железа (III), меди (II), кобальта (II) или никеля (II). Можно в растворы солей поместить немного силикагеля, перемешать и дать отстояться.

Задания для самостоятельной работы и теоретического обсуждения эксперимента

1. Охарактеризуйте отношение кремния к простым и сложным веществам. Приведите соответствующие уравнения реакций.

1.1. Чем объясняется, что кремний, в отличие от фосфора, серы и галогенов, не диспропорционирует в водных растворах щелочей?

1.2. Почему кремний, в отличие от фосфора и серы, не растворяется в концентрированной азотной кислоте?

1.3. Чем объясняется, что кремний не растворяется в «царской водке», но растворяется в смеси азотной и плавиковой кислот?

2. Рассмотрите строение кислородных соединений кремния и объясните их свойства.

2.1. Как соотносятся между собой энергии связей $E_{\text{C-O}}$ и $E_{\text{Si-O}}$ и как это сказывается на агрегатном состоянии CO_2 и SiO_2 ?



2.2. Чем объясняется многообразие образуемых кремнием кислородных соединений?

2.3. Что такое силикагель? Сравните адсорбционные свойства силикагеля и активированного угля. Дайте теоретическое объяснение.

2.4. Почему в ряду $\text{Cl(VII)} \rightarrow \text{S(VI)} \rightarrow \text{P(V)} \rightarrow \text{Si(IV)}$ резко возрастает число возможных оксосоединений?

Si(IV)	P(V)	S(VI)	Cl(VII)
SiO_4^{4-}	PO_4^{3-}	SO_4^{2-}	ClO_4^-
$\text{Si}_2\text{O}_7^{6-}$	$\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$	$\text{S}_2\text{O}_7^{2-}$	Cl_2O_7
$(\text{SiO}_3)_n^{2n-}$	$(\text{PO}_3)_n^{n-}$	$(\text{SO}_3)_n$	—
$(\text{Si}_2\text{O}_5)_n^{2n-}$	$(\text{P}_2\text{O}_5)_n$	—	—
$(\text{SiO}_2)_n$	—	—	—

3. Охарактеризуйте кислотные свойства соединений кремния (IV).

3.1. Составьте схемы гидролиза SiF_4 и SiCl_4 . Объясните, почему CF_4 и CCl_4 не гидролизуются, а гидролиз SiF_4 и SiCl_4 протекает активно.

3.2. Сравните гидролизуемость SiF_4 и SiCl_4 .

3.3. Приведите примеры реакций, подтверждающие кислотные свойства оксида кремния (IV).

4. Сравните кислотные свойства CO_2 и SiO_2 .

4.1. Вычислите $\Delta_r G_{298}^0$ реакций получения $\text{CaCO}_{3(\text{к})}$ и $\text{CaSiO}_{3(\text{к})}$ из оксидов.

4.2. Какой из оксидов — CO_2 или SiO_2 — проявляет кислотные свойства в большей степени?

4.3. Вычислите $\Delta_r G_{298}^0$ реакции взаимодействия $\text{CaCO}_{3(\text{к})}$ с $\text{SiO}_{2(\text{к})}$. При какой температуре возможно ее протекание? Объясните полученный результат.

5. Рассмотрите строение силанов и объясните их свойства.

5.1. Как соотносятся между собой энергии связей $E_{\text{C-C}}$ и $E_{\text{Si-Si}}$? Сопоставьте их с энергиями связей $E_{\text{N-N}}$ и $E_{\text{P-P}}$; $E_{\text{O-O}}$ и $E_{\text{S-S}}$; $E_{\text{F-F}}$ и $E_{\text{Cl-Cl}}$. Объясните наблюдаемую закономерность.

5.2. Чем объясняется, что кремневодородов существует значительно меньше, чем углеводородов? Как объяснить, что аналоги этилена, ацетилен, бензола для кремния неустойчивы?



5.3. Как соотносятся между собой энергии связей E_{C-H} и E_{Si-H} ? Как это сказывается на термодинамической устойчивости силана и метана и способах их получения?

5.4. Как меняется химическая активность при переходе от углеводородов к силанам; с увеличением молярной массы силанов? Ответ подтвердите соответствующими уравнениями реакций.

6. Сравните свойства карбидов и силицидов.

6.1. Сравните классификации карбидов и силицидов по типу химической связи. Укажите причину различия этих классификаций.

6.2. Какие из них используются для получения водородных соединений? Ответ подтвердите соответствующими уравнениями реакций.



Тема 8

ГЕРМАНИЙ — ОЛОВО — СВИНЕЦ: ПРЕДСКАЗЫВАЕМ КИСЛОТНО- ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА. ТОРЖЕСТВО ПЕРИОДИЧЕСКОГО ЗАКОНА

**Вырабатываем собственную точку зрения:
темы учебно-исследовательских задач**

1. Кислотно-основные свойства соединений германия. Прямые и косвенные доказательства.
2. Открытие экасилиция. Действительно ли химия германия аналогична химии кремния?
3. α - и β -Оловянные кислоты. Есть ли аналогия строения и свойств с орто- и метакремниевыми кислотами?
4. Гидриды германия, олова и свинца. Теоретический или практический интерес?
5. Что мы знаем о применении свинца и его соединений?

**Действуем самостоятельно:
экспериментальные задания по теме «Способы получения
и свойства олова, свинца и их соединений»**

Задания I уровня

1. Изучите условия растворения олова в щелочи.
2. Изучите особенности гидролиза хлорида олова (II).
3. Изучите окислительные свойства оксида свинца (IV).
4. Изучите качественные реакции на соединения олова (II).
5. Изучите способы получения β -оловянной кислоты и предложите оптимальный для лабораторных условий.
6. Изучите окислительные свойства хлорида олова (IV).
7. Изучите условия растворения свинца в щелочи.
8. Изучите качественные реакции на соединения свинца (II).



9. Докажите, что в сурике свинец находится в разных степенях окисления.

10. Изучите кислотные свойства оксида свинца (IV).

Задания II уровня

1. Исследуйте условия растворения олова в кислотах и выберите оптимальный растворитель в лабораторных условиях.

2. Исследуйте способы получения гидроксида олова (II) и выберите оптимальный в лабораторных условиях.

3. Исследуйте кислотно-основные свойства гидроксида олова (II).

4. Исследуйте влияние pH среды на способ получения сульфида олова (II).

5. Исследуйте кислотно-основные свойства сульфида олова (II).

6. Исследуйте восстановительные свойства хлорида олова (II).

7. Исследуйте влияние pH среды на восстановительные свойства соединений олова (II).

8. Исследуйте способы получения α -оловянной кислоты и предложите оптимальный в лабораторных условиях.

9. Исследуйте кислотно-основные свойства α -оловянной кислоты.

10. Исследуйте кислотно-основные свойства β -оловянной кислоты.

11. Исследуйте влияние pH среды на способ получения сульфида олова (IV).

12. Исследуйте кислотно-основные свойства сульфида олова (IV).

13. Исследуйте условия растворения свинца в кислотах и выберите оптимальный растворитель в лабораторных условиях.

14. Исследуйте способы получения гидроксида свинца (II) и предложите оптимальный в лабораторных условиях.

15. Исследуйте кислотно-основные свойства гидроксида свинца (II).

16. Исследуйте способы и условия получения оксида свинца (IV) и предложите оптимальный в лабораторных условиях.

Задания III уровня

1. Сравните кислотно-основные свойства гидроксидов олова (II) и свинца (II).



2. Сравните условия получения гидроксидов олова (II) и свинца (II).
3. Исследуйте кислотно-основные свойства соединений олова (II).
4. Сравните условия получения сульфидов олова (II) и (IV) в лаборатории.
5. Сравните кислотно-основные свойства сульфидов олова (II) и (IV).

Рекомендуемые опыты

1. В 5 пробирок поместите по 1—2 гранулы олова и прилейте немного концентрированной соляной, разбавленной и концентрированной серной, 3—5%-ной и 68%-ной азотной кислоты. При необходимости содержимое пробирок нагрейте на водяной бане. Варьируйте количества растворов и порядок сливания.
2. В пробирку поместите 1—2 гранулы олова и прилейте 30%-ный раствор щелочи. При необходимости содержимое пробирки нагрейте на водяной бане.
3. В четыре пробирки налейте раствор хлорида олова (II) и добавьте водный раствор аммиака, карбоната натрия, разбавленный раствор щелочи, взятый в недостатке и в избытке. Объясните наблюдаемое. Поменяйте порядок сливания. Объясните наблюдаемое. Выберите оптимальный эксперимент, отвечающий цели исследования.
4. Получите гидроксид олова (II) и исследуйте его растворимость в растворах разбавленной и концентрированной соляной кислоты, разбавленной и концентрированной щелочи. Варьируйте количества растворов и порядок сливания.
5. В пробирку поместите немного кристаллов хлорида олова (II) и добавьте дистиллированной воды до появления признака реакции, затем прилейте концентрированный раствор соляной кислоты.
6. Получите гидроксид олова (II), растворите его в избытке щелочи и прокипятите полученный раствор.
7. В пробирку налейте раствор нитрата ртути (II) и добавьте по каплям (почему?) раствор хлорида олова (II). Что наблюдаете? Исследуйте, что происходит с реакционной смесью во времени, при добавлении избытка раствора хлорида олова (II) и при нагревании.



8. В пробирке слейте подкисленные соляной кислотой растворы хлорида железа (III) и хлорида олова (II). Что наблюдаете? Докажите, какие продукты образовались в результате взаимодействия.

9. В пробирку налейте раствор хлорида олова (II), добавьте избыток разбавленного раствора щелочи и по каплям раствор нитрата висмута (III).

10. В пробирку налейте раствор перманганата калия, подкислите разбавленной серной кислотой и добавьте раствор хлорида олова (II).

11. В две пробирки налейте раствор хлорида олова (II). В одну добавьте раствор сероводородной кислоты, а в другую — раствор сульфида калия, натрия или аммония. Отметьте, с каким из реагентов протекает взаимодействие и при каких условиях. Варьируйте количества растворов и порядок сливания.

12. Получите сульфид олова (II) и исследуйте его растворимость в разбавленном растворе сульфида калия, натрия или аммония. Варьируйте количества растворов и порядок сливания.

13. Получите сульфид олова (II), растворите его в полисульфиде калия, натрия или аммония. Затем добавьте раствор соляной кислоты. Варьируйте количества растворов и порядок сливания.

14. В три пробирки налейте солянокислый (для подавления гидролиза) раствор хлорида олова (IV) и добавьте водный раствор аммиака, разбавленный раствор щелочи, взятый в недостатке и в избытке. Объясните наблюдаемое. Поменяйте порядок сливания. Объясните наблюдаемое.

15. Получите α -оловянную кислоту и исследуйте ее растворимость в растворах разбавленной и концентрированной соляной кислоты, разбавленной и концентрированной щелочи. Варьируйте количества растворов и порядок сливания.

16. В пробирку поместите 1—2 гранулы олова и прилейте немного концентрированной азотной кислоты. Содержимое пробирки нагрейте. Когда олово полностью растворится, образовавшийся осадок промойте водой путем декантации.

17. Получите β -оловянную кислоту и исследуйте ее растворимость в растворах разбавленной и концентрированной соляной кислоты, разбавленной и концентрированной щелочи. Варьируйте количества растворов и порядок сливания.



18. В две пробирки налейте солянокислый (для подавления гидролиза) раствор хлорида олова (IV). В одну добавьте раствор сероводородной кислоты, а в другую — раствор сульфида калия, натрия или аммония. Отметьте, с каким из реагентов протекает взаимодействие и при каких условиях. Варьируйте количества растворов и порядок сливания.

19. Получите сульфид олова (IV) и исследуйте его растворимость в концентрированных растворах соляной кислоты и щелочи, а также разбавленном растворе сульфида калия, натрия или аммония. Варьируйте количества растворов и порядок сливания.

20. К раствору хлорида олова (II) добавьте по каплям бромной воды до слабо-желтой окраски. В полученный раствор опустите железный гвоздь с очищенной поверхностью. Докажите, какие продукты образовались в результате взаимодействия.

21. В 5 пробирок поместите по кусочку свинца и прилейте немного концентрированной соляной, серной и уксусной кислот, 30—32%-ной и 68%-ной азотной кислоты. При необходимости содержимое пробирок нагрейте на водяной бане.

22. В пробирку поместите кусочек свинца и прилейте немного 10%-ного раствора щелочи. При необходимости содержимое пробирки нагрейте на водяной бане.

23. В несколько пробирок налейте раствор нитрата свинца (II) и добавьте разбавленный и концентрированный раствор щелочи, взятый в недостатке и в избытке. Объясните наблюдаемое. Поменяйте порядок сливания. Объясните наблюдаемое. Выберите оптимальный эксперимент, отвечающий цели исследования.

24. Получите гидроксид свинца (II) и исследуйте его растворимость в растворах 30—32%-ной и 68%-ной азотной кислоты (почему не соляной и серной?), разбавленной и концентрированной щелочи. Варьируйте количества растворов и порядок сливания.

25. В пробирку поместите небольшое количество сурика и добавьте 30—32%-ной азотной кислоты. Докажите, какие продукты образовались в результате взаимодействия.

26. В пробирку налейте раствор ацетата свинца (II) и добавьте бромной воды.

27. Получите оксид свинца (IV) и исследуйте его растворимость в концентрированном растворе щелочи. При необходимости содержимое пробирки нагрейте.



28. Получите оксид свинца (IV), прилейте к нему 5 мл 30%-ного раствора серной кислоты и 1—2 капли сульфата марганца (II). Реакционную смесь нагрейте.

29. В пробирку налейте раствор нитрата свинца (II) и добавьте насыщенный раствор хлорида калия или натрия.

30. В пробирку налейте раствор ацетата свинца (II) и добавьте раствор йодида калия. Выпавшему осадку дайте отстояться, слейте надосадочную жидкость, добавьте воды и нагрейте до образования прозрачного бесцветного раствора. Реакционную смесь медленно охладите. Что наблюдаете?

31. В пробирку налейте раствор ацетата свинца (II) и добавьте раствор хромата калия.

32. В пробирку налейте раствор нитрата свинца (II) и добавьте раствор сульфида калия, натрия или аммония. Избыток воды слейте декантацией и добавьте затем раствор пероксида водорода.

Задания для самостоятельной работы и теоретического обсуждения эксперимента

1. Охарактеризуйте химические свойства германия, олова и свинца.

1.1. Проиллюстрируйте усиление металлических свойств в ряду $\text{Ge} — \text{Sn} — \text{Pb}$:

— на примере их взаимодействия с азотной, соляной и серной кислотами;

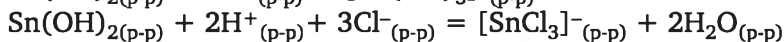
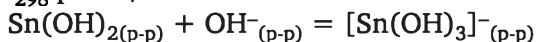
— на примере их взаимодействия с гидроксидом натрия.

1.2. Выберите оптимальный растворитель для металлических германия, олова и свинца.

1.3. Предложите схему полного растворения сплава из олова и свинца, содержащего некоторое количество кремния.

2. Охарактеризуйте кислотно-основные свойства соединений германия (II), олова (II) и свинца (II).

2.1. Используя справочные данные, рассчитайте значения $\Delta_r G_{298}^0$ реакций:



Какая из функций — кислотная или основная — преобладает у гидроксида олова (II)?

2.2. Напишите уравнения реакций взаимодействия гидроксида свинца (II) с гидроксидом натрия и азотной кислотой. Какая из функций — кислотная или основная — преобладает у гидроксида свинца (II)?

2.3. Сравните условия взаимодействия гидроксидов олова (II) и свинца (II) с гидроксидом натрия и сформулируйте вывод об изменении кислотно-основных свойств в ряду $\text{Sn}(\text{OH})_2$ — $\text{Pb}(\text{OH})_2$.

2.4. На основании полученных данных предскажите кислотно-основные свойства $\text{Ge}(\text{OH})_2$.

2.5. У вас есть смесь твердых GeS , SnS и PbS . Сравните их химические свойства и предложите схему последовательного селективного растворения и разделения смеси.

3. Сравните кислотно-основные свойства соединений германия, олова и свинца в степенях окисления +2 и +4.

3.1. Напишите уравнения реакций гидролиза хлоридов олова (II) и (IV). Рассчитайте значения $\Delta_r G_{298}^0$ и констант равновесия реакций гидролиза.

3.2. Напишите возможные уравнения реакций, доказывающие кислотно-основные свойства соединений германия, олова и свинца в степенях окисления +2 и +4.

3.3. Какой вывод можно сделать о характере изменения кислотно-основных свойств с ростом степени окисления элемента?

3.4. У вас есть две смеси: твердых GeS и GeS_2 , SnS и SnS_2 . Сравните химические свойства указанных сульфидов и предложите схему последовательного селективного растворения и разделения этих смесей.

4. Сравните кислотно-основные свойства соединений олова (II) и сурьмы (III).

4.1. Напишите уравнения реакций гидролиза хлоридов олова (II) и сурьмы (III). Сравните значения $\Delta_r G_{298}^0$ и констант равновесия реакций гидролиза.

4.2. Какой вывод можно сделать о характере изменения кислотно-основных свойств с уменьшением номера группы Периодической системы?

4.3. Сравните кислотно-основные свойства сульфидов олова (II) и сурьмы (III).

5. Охарактеризуйте окислительно-восстановительные свойства соединений германия (II), олова (II) и свинца (II).

5.1. В какой среде соединения олова (II) проявляют преимущественно восстановительные свойства? Ответ подтвердите



справочными данными и соответствующими уравнениями химических реакций.

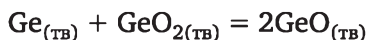
5.2. Почему соли олова (II) в солянокислом растворе являются более сильными восстановителями, чем в сернокислом?

5.3. Какие соединения свинца (II) и в какой среде могут проявлять восстановительные свойства? Какие окислители могут быть для этого использованы? Ответ проиллюстрируйте соответствующими уравнениями реакций.

5.4. Приведите значения стандартных окислительно-восстановительных потенциалов однотипных полуреакций соединений германия, олова и свинца. Сравните восстановительные свойства соединений германия (II), олова (II) и свинца (II).

6. Охарактеризуйте окислительно-восстановительные свойства соединений германия (IV), олова (IV) и свинца (IV).

6.1. Используя справочные данные, вычислите значения $\Delta_f G_{298}^0$ следующих реакций:



и определите, в каком направлении они протекают самопроизвольно в стандартных условиях.

6.2. Определите наиболее устойчивую степень окисления германия, олова и свинца на основании найденных значений $\Delta_f G_{298}^0$ реакций.

6.3. Приведите значения $\Delta_f G_{298}^0$ образования однотипных соединений германия, олова и свинца (II) и (IV) в растворе. Совпадает ли устойчивость соединений германия, олова и свинца в одинаковой степени окисления в растворе и твердой фазе?

6.4. Сравните значения стандартных окислительно-восстановительных потенциалов однотипных полуреакций $\text{M}^{\text{IV}}/\text{M}^{\text{II}}$ для германия, олова и свинца. Как изменяется окислительная активность в ряду $\text{Ge}(\text{IV}) \rightarrow \text{Sn}(\text{IV}) \rightarrow \text{Pb}(\text{IV})$ в растворах? Приведите известные значения полуреакций $\text{M}^{\text{IV}}/\text{M}^{\text{II}}$ в кислой и щелочной средах. Как изменяется окислительная активность олова и свинца в зависимости от pH среды? В подтверждение ответа приведите соответствующие уравнения реакций.



Тема 9

МНОГОЛИКИЙ ХРОМ. ОБОБЩАЕМ ВСЕ ИЗВЕСТНЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА В ОДНОМ ЭЛЕМЕНТЕ

**Вырабатываем собственную точку зрения:
темы учебно-исследовательских задач**

1. Почему все соединения хрома окрашены?
2. Самое практически значимое соединение хрома.
3. Самое устойчивое комплексное соединение хрома.
4. «Устойчивость» соединений хрома в неустойчивых степенях окисления.
5. Для чего используются протравные красители и пигменты на основе соединений хрома?
6. В чем проявляется аналогия химии хрома и серы?

**Действуем самостоятельно:
экспериментальные задания по теме «Способы получения
и свойства важнейших соединений хрома»**

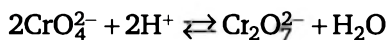
Задания I уровня

1. Изучите способы получения солей хрома (II).
2. Изучите устойчивость хлорида хрома (II) на воздухе.
3. Изучите окислительные свойства соединений хрома (III).
4. Изучите термическую устойчивость водного раствора гидроксохромита калия или натрия.
5. Изучите способ получения оксида хрома (VI).
6. Изучите способ получения хромовых кислот.
7. Изучите способ получения пероксида хрома CrO_5 .
8. Изучите способы получения нерастворимых хроматов.
9. Изучите качественные реакции на хромат (VI)- и дихромат (VI)-ионы.



Задания II уровня

1. Исследуйте восстановительные свойства хлорида хрома (II).
2. Исследуйте обратимый и необратимый гидролиз солей хрома (III). Объясните его причины.
3. Исследуйте восстановительные свойства соединений хрома (III).
4. Исследуйте комплексообразующие свойства иона хрома (3+).
5. Исследуйте окислительные свойства оксида хрома (VI).
6. Исследуйте условия смещения равновесия в системе:



7. Исследуйте влияние pH среды на окислительные свойства и продукты восстановления хромовых кислот.
8. Исследуйте влияние силы восстановителя на продукты восстановления хромат- и дихромат-ионов.

Задания III уровня

1. Сравните устойчивость хлорида и ацетата хрома (II) на воздухе. План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.
2. Сравните способы получения гидроксидов хрома (III) и алюминия (III). Выберите оптимальные в лабораторных условиях. План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.
3. Сравните кислотно-основные свойства гидроксидов хрома (III) и алюминия (III). План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем. Учтите возможность варьирования количества реагентов и порядка сливания.
4. Определите с помощью pH-метра pH 0,1 моль/л раствора хлорида хрома (III) и сравните с рассчитанным значением pH при прохождении гидролиза соли по первой ступени. В случае несовпадения дайте теоретическое объяснение.
5. Сравните обратимый и необратимый гидролиз солей хрома (III) и алюминия (III).
6. Сравните качественные реакции на хромат (VI)- и сульфат-ионы.

Рекомендуемые опыты

1. В пробирку поместите несколько гранул цинка, прилейте по 2—3 мл раствора хлорида хрома (III) и разбавленного раствора соляной кислоты, а затем — тонкий слой органического растворителя (зачем?).

2. Поместите в пробирку немного кристаллического ацетата натрия и прилейте к нему свежеполученный раствор хлорида хрома (II). Оставьте полученный продукт на воздухе.

3. Налейте в пробирку свежеполученный раствор хлорида хрома (II) и оставьте его на воздухе.

4. Налейте в пробирку свежеполученный раствор хлорида хрома (II) и прилейте к нему раствор хлорида олова (II). Варьируйте количества растворов и порядок сливания.

5. Получите раствор гидроксохромата (III) натрия или калия (как?) и прокипятите его.

6. К раствору хлорида хрома (III) прилейте раствор карбоната калия, натрия или аммония.

7. К раствору хлорида хрома (III) прилейте раствор сульфида калия, натрия или аммония.

8. К раствору хлорида хрома (III) прилейте водный раствор аммиака.

9. К раствору хлорида хрома (III) прилейте избыток щелочи и бромной воды. Смесь нагрейте. Варьируйте количества растворов и порядок сливания.

10. К раствору хлорида хрома (III) прилейте избыток щелочи и 10%-ный раствор пероксида водорода. Смесь нагрейте. Варьируйте количества растворов и порядок сливания.

11. В две пробирки поместите немного кристаллов кристаллогидрата хлорида хрома (III) и приготовьте концентрированный и разбавленный раствор соли. Растворы нагрейте.

12. Налейте в пробирку 2—3 мл насыщенного раствора дихромата калия. Опустите пробирку в стакан с холодной водой и добавьте 3—4 мл концентрированной серной кислоты (почему не соляной или азотной?).

13. Несколько кристаллов оксида хрома (VI) поместите в фарфоровую чашку и прилейте дистиллированную воду, взятую в недостатке и в избытке. Что наблюдаете?

14. Несколько кристаллов оксида хрома (VI) поместите в фарфоровую чашку и пипеткой осторожно (!) добавьте несколько капель этилового спирта.



15. Несколько кристаллов оксида хрома (VI) поместите в фарфоровую чашку и прилейте раствор йодида калия.

16. В одной пробирке к раствору хромата калия прилейте разбавленную кислоту, а затем — разбавленную щелочь. В другой пробирке к раствору дихромата калия прилейте разбавленную щелочь, а затем — разбавленную кислоту (какую?).

17. К растворам хромата и дихромата калия прилейте растворы солей свинца и бария.

18. К подкисленным (чем?) растворам дихромата калия в двух пробирках прилейте растворы сульфида аммония и сероводородной кислоты. В какой пробирке реакция протекает быстрее? Какая реакция термодинамически более выгодна?

19. К растворам хромата калия в двух пробирках прилейте растворы сульфида аммония и сероводородной кислоты. В какой пробирке реакция протекает быстрее? Какая реакция термодинамически более выгодна?

20. К подкисленному (чем?) раствору дихромата калия прилейте раствор гидразина или гидроксилamina.

21. К раствору хромата калия прилейте раствор гидразина или гидроксилamina.

22. К подкисленному (чем?) раствору дихромата калия прилейте раствор нитрита калия или натрия.

23. К подкисленному (чем?) раствору дихромата калия прилейте раствор йодида калия и органический растворитель до образования тонкого поверхностного слоя (зачем?).

24. К 1—2 мл разбавленного раствора пероксида водорода прилейте несколько капель разбавленного раствора серной кислоты, 1—2 мл диэтилового эфира и раствор дихромата калия. Осторожно перемешайте. Наблюдайте за изменением окраски полученного раствора во времени.

Задания для самостоятельной работы и теоретического обсуждения эксперимента

1. Рассмотрите строение карбонила хрома и объясните его свойства.

1.1. Объясните, почему межъядерное расстояние $d(\text{CO})$ в карбониле хрома (0,116 нм) больше, чем в молекуле CO (0,113 нм), а эффективный заряд на атоме хрома положительный ($\delta = 0,4+$).

1.2. Какова устойчивость карбониллов? Ответ подтвердите соответствующими справочными данными.

1.3. Какие типы реакций характерны для карбониллов? В подтверждение ответа приведите соответствующие уравнения реакций.

1.4. Какое практическое значение имеет карбонил хрома?

2. Охарактеризуйте химические свойства соединений хрома (II).

2.1. Рассмотрите строение аквакомплекса хрома (II). Какое координационное число и какая геометрия для него характерны?

2.2. Какова термодинамическая устойчивость аквакомплекса хрома (II)? На основании полученных выводов предскажите его окислительно-восстановительные свойства. В обоснование ответа приведите значения стандартных окислительно-восстановительных потенциалов и соответствующие уравнения реакций. Рассчитайте значения констант равновесия приведенных реакций. Какова глубина их протекания?

2.3. Почему окраска даже изолированных от воздуха растворов соединений хрома (II) при стоянии изменяется? В обоснование ответа приведите значения стандартных окислительно-восстановительных потенциалов и соответствующее уравнение реакции.

2.4. Какие свойства — кислотные или основные — характерны для соединений хрома (II)? Приведите соответствующие уравнения реакций.

2.5. Приведите способы получения соединений хрома (II). Объясните, почему при растворении металлического хрома в кислотах-неокислителях вначале образуются соли хрома (II), а потом — соли хрома (III).

3. Охарактеризуйте кислотно-основные свойства соединений хрома (III).

3.1. Вычислите значения $\Delta_r G_{298}^0$ получения $\text{Ca}(\text{CrO}_2)_2$ и $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ из оксидов. Какие свойства — кислотные или основные — преобладают у Cr_2O_3 ?

3.2. В какой форме ионы Cr(III) существуют в кислом и щелочном растворах? Приведите уравнения реакций, иллюстрирующих кислотно-основные свойства гидроксида хрома (III).

3.3. Для какого элемента характерны аналогичные соединениям Cr(III) кислотно-основные свойства и с чем это может быть связано?



3.4. Рассчитайте степень гидролиза 0,1 моль/л раствора хлорида хрома (III) по первой ступени. К какому типу гидролиза относится эта реакция?

3.5. Какие еще типы гидролиза характерны для солей хрома (III)? Приведите соответствующие уравнения реакций.

3.6. Сформулируйте общий вывод о кислотно-основных свойствах соединений хрома (III).

4. Охарактеризуйте окислительно-восстановительные свойства соединений хрома (III).

4.1. В какой среде соединения хрома (III) проявляют окислительные свойства? Какие восстановители могут быть для этого использованы? Ответ проиллюстрируйте соответствующими уравнениями реакций.

4.2. В какой среде соединения хрома (III) проявляют восстановительные свойства? Какие окислители могут быть для этого использованы? Ответ проиллюстрируйте соответствующими уравнениями реакций.

4.3. Соединения хрома (III) можно окислить либо в кислой среде пероксодисульфатом калия, либо в щелочной среде хлором, бромом, йодом, пероксидом водорода и т. п. Напишите уравнения реакций и рассчитайте, в какой среде и с каким окислителем реакция термодинамически более выгодна?

5. Охарактеризуйте свойства комплексов хрома (III).

5.1. Рассмотрите строение аквакомплекса хрома (III). Какое координационное число и какая геометрия для него характерны? Какова его термодинамическая устойчивость? Сравните термодинамическую устойчивость аквакомплексов хрома (II) и (III). Приведите способы получения аквакомплекса хрома (III).

5.2. Какие комплексы хрома (III) устойчивы в кислых средах? Рассмотрите их строение и приведите возможные способы получения.

5.3. Какие комплексы хрома (III) устойчивы в щелочных средах? Рассмотрите их строение и приведите возможные способы получения.

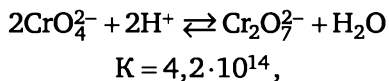
6. Рассмотрите строение кислородных кислот хрома (VI) и объясните их свойства.

6.1. Чему равны координационное число и степень окисления хрома в кислородных кислотах хрома (VI)? Объясните многообразие образуемых хромом (VI) кислот.

6.2. Как и почему меняется устойчивость в ряду кислот H_2CrO_4 — $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ — $\text{H}_2\text{Cr}_3\text{O}_{10}$?

6.3. Как и почему меняется сила кислот в ряду H_2CrO_4 — $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ — $\text{H}_2\text{Cr}_3\text{O}_{10}$?

6.4. Учитывая значение константы равновесия



рассчитайте, при каком значении pH в 0,1 моль/л растворе соли хрома (VI) концентрации хромат- и дихромат-ионов одинаковы и при каком значении pH 99% соли хрома содержится в виде дихромат-ионов. Используя полученные данные, объясните, почему при использовании нейтрального раствора дихромата не происходит количественного осаждения хроматов (например, хромата бария)?

6.5. Обобщите, как изменяются кислотно-основные свойства соединений хрома с ростом степени окисления элемента.

7. Охарактеризуйте окислительные свойства соединений хрома (VI).

7.1. В какой среде соединения хрома (VI) проявляют наиболее сильные окислительные свойства? В подтверждение ответа приведите значения стандартных окислительно-восстановительных потенциалов и соответствующие уравнения реакций.

7.2. Перечислите изученные в предыдущих темах типичные восстановители. Какие из них можно использовать только в кислых, только в нейтральных, только в щелочных средах? Какие из них можно использовать во всех средах? Напишите возможные уравнения реакций.

7.3. Обобщите, как изменяются окислительно-восстановительные свойства соединений хрома с ростом степени окисления элемента.



Тема 10

МАРГАНЕЦ В НЕОРГАНИЧЕСКОЙ, ОРГАНИЧЕСКОЙ И АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ. ВСЕ ОКИСЛИТЕЛЬНО- ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ РЕАКЦИИ В ТРЕХ СХЕМАХ. ГЛАВНОЕ — СРЕДА

**Вырабатываем собственную точку зрения:
темы учебно-исследовательских задач**

1. Применение соединений марганца в неорганической химии.
2. Применение соединений марганца в органической химии.
3. Применение соединений марганца в аналитической химии.
4. Самое устойчивое комплексное соединение марганца.
5. «Устойчивость» соединений марганца в неустойчивых степенях окисления.
6. В чем проявляется аналогия химии марганца и хлора?
7. В чем проявляется сходство и различие в химии марганца и хрома?

**Действуем самостоятельно:
экспериментальные задания по теме «Способы получения
и свойства важнейших соединений марганца»**

Задания I уровня

1. Изучите качественную реакцию на ион марганца (2+).
2. Изучите качественную реакцию на марганат (VI)-ион и объясните, почему она относится к качественным.

Задания II уровня

1. Исследуйте восстановительные свойства гидроксида марганца (II).
2. Исследуйте восстановительные свойства сульфата марганца (II).
3. Исследуйте кислотно-основные свойства оксида марганца (IV).
4. Исследуйте окислительные свойства оксида марганца (IV). Какие свойства — окислительные или восстановительные — более характерны для оксида марганца (IV)?
5. Исследуйте способы получения манганата (VI) калия. Предложите оптимальный в лабораторных условиях. Учтите, что полученное вещество далее будет использовано для изучения его свойств.
6. Исследуйте влияние температуры и pH среды на гидролитическую устойчивость манганата (VI) калия.

Задания III уровня

1. Изучите способы и условия получения гидроксида марганца (II) и выберите оптимальный в лабораторных условиях. План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.
2. Исследуйте устойчивость на воздухе гидроксида марганца (II), полученного в разных условиях. План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.
3. Исследуйте кислотно-основные свойства гидроксида марганца (II). План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.
4. Изучите способы получения оксида марганца (IV) и предложите оптимальный в лабораторных условиях. План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.
5. Изучите восстановительные свойства манганата (VI) калия. План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем. В качестве окислителя используйте хлорную воду.
6. Изучите влияние pH среды на окислительные свойства манганата (VI) калия. План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем. В качестве восстановителя используйте сульфит калия или натрия.



7. Сравните качественные реакции на манганат (VI)-, хромат (VI)- и сульфат-ионы. Дайте теоретическое объяснение полученному выводу.

8. Изучите влияние pH среды на окислительные свойства перманганата калия. План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем. В качестве восстановителя используйте сульфит калия или натрия.

9. Изучите влияние природы восстановителя на продукты восстановления перманганата калия при постоянной кислотности среды. План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем. В качестве восстановителей используйте сульфит калия или натрия, сероводородную кислоту, нитрит калия или натрия, сульфат железа (II), этанол.

Рекомендуемые опыты

1. Получите гидроксид марганца (II) и добавьте к нему бромной воды.

2. Получите гидроксид марганца (II) и добавьте к нему раствор пероксида водорода.

3. Налейте в пробирку раствор пероксодисульфата аммония, подкислите азотной кислотой, добавьте по 2—3 капли растворов нитрата серебра и сульфата марганца (II). Смесь осторожно нагрейте.

4. К раствору сульфата марганца (II) прилейте по каплям раствор перманганата калия.

5. К 1 моль/л раствору сульфата марганца (II) прилейте 2 моль/л водный раствор аммиака и 10%-ный раствор пероксида водорода.

6. Получите оксид марганца (IV) и испытайте его отношение к концентрированным растворам соляной кислоты и гидроксида калия или натрия. Варьируйте количества растворов и порядок сливания.

7. Получите оксид марганца (IV) и прилейте раствор щавелевой кислоты.

8. В пробирку поместите немного кристаллов оксида марганца (IV), добавьте разбавленной серной кислоты и 1—2 капли 10%-ного раствора пероксида водорода. Смесь нагрейте.

9. В пробирку поместите немного кристаллов перманганата калия и добавьте 5 мл концентрированного раствора гидроксида калия. Пробирку поставьте в стакан с горячей водой

и продолжайте нагревание до появления признака протекания реакции.

10. В пробирку поместите немного кристаллов перманганата калия и нагревайте до полного завершения реакции.

11. Поместите в 2 пробирки немного охлажденных кристаллов марганата (VI) калия (или щелочной раствор марганата (VI) калия) и добавьте в одну — холодной воды, а в другую — горячей воды с температурой $t = 60\text{—}80\text{ }^{\circ}\text{C}$.

12. Поместите в 3 пробирки немного охлажденных кристаллов марганата (VI) калия и добавьте в первую — холодной воды, во вторую — разбавленный раствор любой кислоты, а в третью — разбавленный раствор щелочи. Наблюдайте за признаками реакций во времени.

13. Поместите в пробирку немного охлажденных кристаллов марганата (VI) калия, растворите в небольшом количестве холодной воды (или раствор марганата (VI) калия) и добавьте кристаллы щавелевой кислоты, взятые сначала в недостатке, а потом в избытке. Кристаллы щавелевой кислоты замените на ее водный раствор и повторите эксперимент при комнатной температуре и нагревании.

14. Поместите в пробирку немного охлажденных кристаллов марганата (VI) калия, растворите их в холодной воде и добавьте хлорид бария (подумайте, раствор или кристаллы?).

Задания для самостоятельной работы и теоретического обсуждения эксперимента

1. Рассмотрите строение комплексов марганца и объясните их свойства.

1.1. Какое координационное число центрального иона и какая геометрия характерны для аква- и гидроксокомплексов марганца (II)?

1.2. Какова их устойчивость в водных растворах? Приведите уравнения реакций и условия получения аква- и гидроксокомплексов марганца (II).

1.3. Какое координационное число характерно для марганца в карбониле? Приведите уравнения реакций получения и свойств карбонила марганца.

2. Охарактеризуйте восстановительные свойства соединений марганца (II).



2.1. Приведите значения стандартных окислительно-восстановительных потенциалов реакций окисления соединений марганца (II) до соединений марганца (IV) и восстановления воды до молекулярного водорода. Сформулируйте вывод о возможности разложения воды соединениями марганца (II). Сравните восстановительные свойства ионов Mn^{2+} и Cr^{2+} в водных растворах и объясните их различие.

2.2. До каких продуктов соединения марганца (II) окисляются в кислой, нейтральной и щелочной средах? Какие окислители могут быть для этого использованы? В обоснование ответа приведите значения стандартных окислительно-восстановительных потенциалов и соответствующие уравнения реакций.

3. Охарактеризуйте кислотно-основные и окислительно-восстановительные свойства оксида марганца (IV).

4. Охарактеризуйте окислительно-восстановительные свойства соединений марганца (VI).

4.1. Рассчитайте значения констант равновесия реакций:



при стандартных условиях и сделайте вывод о сравнительной устойчивости манганатов в нейтральной и кислой средах.

4.2. Какая среда благоприятствует реакциям перехода ионов MnO_4^{2-} в $[\text{Mn}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$, MnO_2 и MnO_4^- ? Приведите соответствующие уравнения реакций.

5. Охарактеризуйте окислительные свойства соединений марганца (VII).

5.1. Сравните значения стандартных окислительно-восстановительных потенциалов перманганат-иона в кислой, нейтральной и щелочной средах. В какой среде перманганат-ион проявляет наиболее сильные окислительные свойства?

5.2. Какая среда благоприятствует реакциям перехода ионов MnO_4^- в $[\text{Mn}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$, MnO_2 и MnO_4^{2-} ? Приведите соответствующие уравнения реакций.

5.3. Перечислите изученные в предыдущих темах типичные восстановители. Какие из них можно использовать только в кислых, только в нейтральных, только в щелочных средах? Какие из них можно использовать во всех средах? Напишите возможные уравнения реакций.



5.4. Рассчитайте значение ЭДС реакции взаимодействия перманганата калия с соляной кислотой в стандартных условиях и сделайте вывод о возможности ее протекания. Как влияют изменения концентраций соляной кислоты и перманганат-ионов на значения ЭДС? Какие условия благоприятствуют протеканию этой реакции?



Тема 11

ЖЕЛЕЗО, КОБАЛЬТ, НИКЕЛЬ.

УДИВИТЕЛЬНОЕ СХОДСТВО

С НЕЭЛЕКТРОННЫМИ АНАЛОГАМИ —

ХРОМОМ, МАРГАНЦЕМ, ...КАКИМ ЕЩЕ?

УЧИМСЯ СРАВНИВАТЬ

**Вырабатываем собственную точку зрения:
темы учебно-исследовательских задач**

1. Черные и цветные металлы. Что есть что, почему и зачем?
2. Коррозия железа. Чем опасна и как с ней бороться?
3. Ищем закономерность в изменении основных свойств оксидов и гидроксидов $\text{Fe(II)} — \text{Co(II)} — \text{Ni(II)}$.
4. Исследуем закономерности в изменении устойчивости амминокомплексов $\text{Fe(II)} — \text{Co(II)} — \text{Ni(II)}$.
5. Изучаем группу «берлинской лазури».
6. Сравнительная характеристика окислительных свойств соединений железа (III) в кислых, щелочных и комплексообразующих средах. В какой среде самые сильные окислительные свойства?

**Действуем самостоятельно: экспериментальные задания
по теме «Способы получения и свойства важнейших
соединений железа, кобальта и никеля»**

Задания I уровня

1. Изучите условия получения гидроксида железа (II) и выберите оптимальный в лабораторных условиях.
2. Изучите условия получения карбоната и гидроксокарбоната железа (II).
3. Изучите условия получения сульфида железа (II).
4. Изучите обратимый и необратимый гидролиз солей железа (III).

5. Изучите восстановительные свойства солей железа (III).
6. Изучите условия получения феррата (VI) калия.
7. Изучите окислительные свойства феррата (VI) калия.
8. Изучите качественные реакции на ион железа (2+).
9. Изучите качественные реакции на ион железа (3+).
10. Изучите качественную реакцию на феррат-ион и объясните, почему она относится к качественным.
11. Изучите обратимый и необратимый гидролиз солей кобальта (II).
12. Изучите восстановительные свойства гидроксида кобальта (II).
13. Изучите способы получения гидроксида кобальта (III).
14. Изучите качественную реакцию на ион кобальта (2+).
15. Изучите обратимый и необратимый гидролиз солей никеля (II).
16. Изучите восстановительные свойства гидроксида никеля (II).

Задания II уровня

1. Исследуйте процесс коррозии железа в присутствии олова и цинка.
2. Исследуйте способы получения гидроксида железа (III) и предложите оптимальный в лабораторных условиях.
3. Исследуйте окислительные свойства солей железа (III).
4. Исследуйте устойчивость комплексных соединений железа (III).
5. Исследуйте условия получения комплексных соединений кобальта (II).

Задания III уровня

1. Изучите взаимодействие железа с разбавленными и концентрированными кислотами. Выберите и объясните оптимальный способ растворения железа в кислотах в лабораторных условиях. План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.
2. Сравните условия получения гидроксидов железа (II) и марганца (II).
3. Изучите устойчивость гидроксида железа (II) на воздухе при комнатной температуре и нагревании. План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.



4. Сравните устойчивость гидроксидов железа (II) и марганца (II) на воздухе. План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.

5. Изучите кислотно-основные свойства гидроксида железа (II). План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.

6. Определите с помощью рН-метра рН 0,1 моль/л свежеприготовленного раствора сульфата железа (II) и сравните с рассчитанным значением рН при прохождении гидролиза соли по первой ступени. В случае несовпадения дайте теоретическое объяснение.

7. Изучите растворимость сульфида железа (II) в веществах основной и кислотной природы. План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем. В качестве растворителей используйте растворы кислот (каких?) и сульфида калия, натрия или аммония, взятых в недостатке и в избытке. На кислотно-основные свойства какого сульфида двухвалентного элемента наиболее похожи свойства сульфида железа (II)?

8. Изучите восстановительные свойства солей железа (II). План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем. В качестве окислителей используйте растворы перманганата калия, хлорной или бромной воды и концентрированной азотной кислоты. Докажите состав продукта окисления соли железа (II).

9. Сравните восстановительные свойства солей железа (II), хрома (II) и марганца (II).

10. Изучите кислотно-основные свойства гидроксида железа (III). План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.

11. Сравните кислотно-основные свойства гидроксидов железа (II) и (III).

12. Определите с помощью рН-метра рН 0,1 моль/л раствора хлорида железа (III) и сравните с рассчитанным значением рН при прохождении гидролиза соли по первой ступени. В случае несовпадения дайте теоретическое объяснение.

13. Сравните степень гидролиза по первой ступени 0,1 моль/л растворов солей железа (II) и (III).

14. Сравните способы получения гидроксидов железа (III), хрома (III) и алюминия (III). Выберите и объясните оптимальный способ или несколько способов получения в лабораторных

условиях. Получите гидроксиды железа (III), хрома (III) и алюминия (III). План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.

15. Сравните условия получения гидроксидов железа (II) и (III). Получите гидроксиды железа (II) и (III).

16. Сравните обратимый и необратимый гидролиз солей железа (III), хрома (III) и алюминия (III).

17. Сравните продукты реакций взаимодействия солей железа (II) и (III) с сероводородной кислотой; сульфидом калия, натрия или аммония.

18. Сравните восстановительные свойства солей железа (II) и (III).

19. Сравните качественные реакции на феррат(VI)-, манганат(VI)-, хромат(VI)- и сульфат-ионы. Дайте теоретическое объяснение полученному выводу.

20. Изучите способы и условия получения гидроксида кобальта (II). Выберите и объясните оптимальный в лабораторных условиях. План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.

21. Изучите кислотно-основные свойства гидроксида кобальта (II). План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.

22. Определите с помощью pH-метра pH 0,1 моль/л раствора хлорида кобальта (II) и сравните с рассчитанным значением pH при прохождении гидролиза соли по первой ступени. В случае несовпадения дайте теоретическое объяснение.

23. Изучите способы и условия получения гидроксида никеля (II). Выберите и объясните оптимальный в лабораторных условиях. План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.

24. Изучите кислотно-основные свойства гидроксида никеля (II). План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.

25. Сравните условия получения гидроксидов железа (II), кобальта (II) и никеля (II). Получите гидроксиды кобальта (II) и никеля (II).

26. Сравните кислотно-основные свойства гидроксидов железа (II), кобальта (II) и никеля (II). План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.



27. Сравните условия получения однотипных комплексных соединений кобальта (II) и никеля (II). Проведите теоретическое сравнение с условиями получения аналогичных комплексных соединений железа (II).

28. Изучите устойчивость гидроксида железа (II) на воздухе. Проведите теоретическое сравнение с устойчивостью гидроксидов кобальта (II) и никеля (II).

29. Определите с помощью рН-метра рН 0,1 моль/л раствора хлорида никеля (II) и сравните с рассчитанным значением рН при прохождении гидролиза соли по первой ступени. В случае несовпадения дайте теоретическое объяснение.

30. Сравните степень гидролиза по первой ступени 0,1 моль/л растворов солей железа (II), кобальта (II) и никеля (II).

31. Сравните условия получения карбонатов железа (II), кобальта (II) и никеля (II).

32. Сравните восстановительные свойства соединений железа (II), кобальта (II) и никеля (II).

33. Изучите способы и условия получения гидроксида никеля (III). Выберите и объясните оптимальный в лабораторных условиях. План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.

34. Сравните способы получения гидроксидов железа (III), кобальта (III) и никеля (III). План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.

Рекомендуемые опыты

1. Два куска железной проволоки очистите наждачной бумагой. К одному из них прикрепите тонкую пластину олова, к другому — гранулу цинка. Опустите оба куска проволоки в пробирки с водой, подкисленной несколькими каплями разбавленной серной кислоты. Докажите (как?) состав образовавшихся продуктов.

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.

3. В одну пробирку поместите немного кристаллов соли Мора, растворите их в свежеполученной дистиллированной воде, добавьте несколько капель 10%-ного раствора серной кислоты и стружку металлического железа. В другой пробирке растворите гидроксид натрия или калия в свежеполученной

дистиллированной воде. Прилейте по каплям раствор соли Мора к раствору щелочи.

4. К раствору сульфата железа (II) (соли Мора или железного купороса) прилейте раствор карбоната калия или натрия до появления признака реакции. Через полученную смесь пропустите ток углекислого газа из аппарата Киппа.

5. К раствору сульфата железа (II) (соли Мора или железного купороса) в двух пробирках прилейте: в одну — сероводородной кислоты, в другую — раствор сульфида калия, натрия или аммония.

6. В нескольких пробирках к раствору хлорида железа (III) прилейте водные растворы гидроксида калия (или натрия), аммиака, карбоната и сульфида калия, натрия или аммония. Варьируйте количества растворов и порядок сливания.

7. В три пробирки налейте раствор хлорида железа (III). Добавьте в первую пробирку органический растворитель (зачем?) до образования тонкого поверхностного слоя, затем небольшое количество соляной кислоты и бросьте несколько стружек металлического железа. Во вторую пробирку добавьте раствор хлорида олова (II), а в третью — сероводородную кислоту (почему не сульфид калия, натрия или аммония?). Нужно ли во вторую и третью пробирку добавлять органический растворитель? Во всех пробирках покажите состав продукта восстановления хлорида железа (III).

8. К раствору хлорида железа (III) добавьте раствор роданида калия (или аммония), а затем — раствор фторида натрия. Варьируйте концентрацию растворов и порядок сливания.

9. К раствору гексацианоферрата (III) калия в двух пробирках добавьте растворы гидроксида калия или натрия и сульфида аммония.

10. В пробирку поместите несколько гранул гидроксида калия или натрия, добавьте 3—4 капли концентрированного раствора хлорида железа (III) и 2—3 капли брома. Смесь немного нагрейте.

11. В двух пробирках к растворам феррата (VI) калия прилейте сероводородной и разбавленной серной кислоты.

12. К раствору феррата (VI) калия прилейте раствор хлорида бария.

13. К разбавленному раствору соли железа (II) прилейте примерно равный объем разбавленного раствора гексацианоферрата (III) калия.



14. К разбавленному раствору соли железа (III) прилейте примерно равный объем разбавленного раствора гексацианоферрата (II) калия.

15. К разбавленному раствору соли железа (III) прилейте разбавленный раствор роданида калия (или аммония) до появления признака реакции.

16. В две пробирки налейте раствор соли кобальта (II). В одну из них добавьте раствор карбоната, а во вторую — гидрокарбоната калия или натрия.

17. В две пробирки налейте раствор соли кобальта (II). В одну из них добавьте бромную воду, а во вторую — раствор пероксида водорода. Затем в обе пробирки прилейте концентрированный раствор щелочи.

18. В две пробирки налейте раствор соли кобальта (II). В одну из них добавьте концентрированную соляную кислоту, а во вторую — твердый хлорид кальция.

19. К раствору соли кобальта (II) или гидроксиду кобальта (II) добавьте сначала недостаток, а потом избыток водного раствора аммиака. Проведите аналогичные реакции в присутствии избытка хлорида аммония.

20. К небольшому количеству раствора соли кобальта (II) добавьте немного уксусной кислоты и кристаллы нитрита калия.

21. В две пробирки налейте раствор соли никеля (II). В одну из них добавьте раствор карбоната, а во вторую — гидрокарбоната калия или натрия.

22. К раствору соли никеля (II) или гидроксиду никеля (II) добавьте бромную воду. Объясните, что можно наблюдать, если бромную воду заменить на пероксид водорода?

23. К раствору соли никеля (II) или гидроксиду никеля (II) добавьте сначала недостаток, а потом избыток водного раствора аммиака.

Задания для самостоятельной работы и теоретического обсуждения эксперимента

1. Объясните, почему железо, кобальт и никель, различающиеся по количеству электронов на $(n-1)d$ -орбиталях атомов, близки по наиболее характерным и определяющим их химию валентным состояниям.

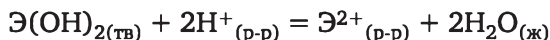


2. Объясните, почему железо, марганец и хром, различающиеся по количеству электронов на $(n-1)d$ -орбиталях атомов, близки по наиболее характерным и определяющим их химию валентным состояниям.

3. Охарактеризуйте кислотно-основные свойства соединений Fe(II), Co(II) и Ni(II).

3.1. Приведите уравнения реакций, подтверждающих основные свойства оксидов и гидроксидов Fe(II), Co(II) и Ni(II).

3.2. Рассчитайте значения $\Delta_r G_{298}^0$:



где Э = Fe, Co и Ni. У какого гидроксида основная функция выражена в большей степени?

3.3. Вычислите pH 0,1 моль/л растворов солей Fe(II), Co(II) и Ni(II), полагая, что гидролиз протекает только по первой ступени.

3.4. Проявляют ли соединения Fe(II), Co(II) и Ni(II) кислотные свойства? В подтверждение ответа приведите уравнения и условия протекающих реакций.

3.5. Обобщите справочные и экспериментальные данные и сформулируйте вывод об изменении основных свойств в ряду $\text{Fe}(\text{OH})_2$ — $\text{Co}(\text{OH})_2$ — $\text{Ni}(\text{OH})_2$.

4. Охарактеризуйте восстановительные свойства соединений Fe(II), Co(II) и Ni(II).

4.1. Какие из гидроксидов Fe(II), Co(II) и Ni(II) могут окисляться кислородом воздуха? В обоснование ответа приведите уравнения реакций и значения соответствующих стандартных окислительно-восстановительных потенциалов.

4.2. Подберите два окислителя, которые могут быть использованы для получения $\text{Fe}(\text{OH})_3$ из $\text{Fe}(\text{OH})_2$ таким образом, чтобы продукт реакции не загрязнялся твердыми продуктами восстановления окислителя. Напишите соответствующие уравнения реакций.

4.3. Выпишите справочные данные значений стандартных окислительно-восстановительных потенциалов ионов и (или) соединений Fe(II), Co(II) и Ni(II) в кислой и щелочной среде. В какой среде соединения Fe(II), Co(II) и Ni(II) проявляют более сильные восстановительные свойства? Какие окислители могут быть для этого использованы? В обоснование ответа приведите соответствующие уравнения реакций.



4.4. Сравните восстановительные свойства соединений Cr(II), Mn(II), Fe(II), Co(II) и Ni(II). В обоснование ответа приведите уравнения реакций и значения соответствующих стандартных окислительно-восстановительных потенциалов.

5. Охарактеризуйте свойства комплексов Fe(II), Co(II) и Ni(II) в водных растворах.

5.1. Какие координационные числа центральных атомов и какая геометрия характерны для аквакомплексов Fe(II), Co(II) и Ni(II)? Какова их термодинамическая устойчивость? Приведите способы их получения.

5.2. Что произойдет, если к водным растворам сульфатов Fe(II), Co(II) и Ni(II) на воздухе прилить избыток раствора аммиака? Напишите уравнения реакций и условия их протекания.

5.3. Учитывая значения ПР гидроксида кобальта (II) и константы устойчивости комплекса $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$, определите, растворим ли в растворе аммиака осадок $\text{Co}(\text{OH})_2$ в стандартных условиях. Рассчитайте константу равновесия данной реакции и оцените возможность смещения равновесия в концентрированном растворе аммиака.

5.4. Объясните, почему при добавлении щелочи к водному раствору $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_2$ выпадает зеленый осадок, а при добавлении щелочи к водному раствору $\text{K}_2[\text{Ni}(\text{CN})_4]$ осадок не выпадает. В обоснование ответа напишите предполагаемые уравнения реакций и рассчитайте значения их констант равновесия в стандартных условиях.

6. Охарактеризуйте кислотно-основные свойства соединений Fe(III).

6.1. В какой форме ионы Fe(III) существуют в кислом и щелочном растворах?

6.2. Вычислите $\Delta_r G_{298}^0$ получения $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ и LiFeO_2 из бинарных оксидов в расчете на 1 моль Fe_2O_3 . Какие свойства — кислотные или основные — преобладают у Fe_2O_3 ?

6.3. Приведите уравнения реакций, иллюстрирующих кислотно-основные свойства гидроксида железа (III).

6.4. Сравните pH 0,1 моль/л растворов солей Fe(II) и Fe(III), полагая, что гидролиз протекает только по первой ступени. Какое основание — $\text{Fe}(\text{OH})_2$ или $\text{Fe}(\text{OH})_3$ — сильнее? Сформулируйте вывод об изменении кислотно-основных свойств с ростом степени окисления элемента.

6.5. Какие соли железа, Fe(II) или Fe(III), гидролизуются сильнее? Какие продукты могут образоваться при гидролизе солей Fe(III)?

6.6. Сравните кислотно-основные свойства оксидов и гидроксидов Fe(III), Cr(III) и Al(III).

7. Охарактеризуйте окислительно-восстановительные свойства соединений Fe(III), Co(III) и Ni(III).

7.1. Напишите уравнения реакций взаимодействия гидроксидов Fe(III), Co(III) и Ni(III) с концентрированными растворами соляной и азотной кислот. Для каких элементов взаимодействие протекает по кислотно-основному, а для каких — по окислительно-восстановительному типу?

7.2. Приведите значения E_{298}^0 полуреакций восстановления ионов Э(3+) до Э(2+). Как меняются окислительные свойства в ряду Fe(3+) — Co(3+) — Ni(3+)?

7.3. Каковы условия превращения Fe₂O₃ и FeCl₃ в производные железа (VI)? В обоснование ответа приведите соответствующие уравнения реакций.

7.4. Сравните условия окисления Fe₂O₃ и FeCl₃ с аналогичными соединениями марганца и хрома. Предложите возможное объяснение этому факту.

8. Охарактеризуйте кислотно-основные и окислительно-восстановительные свойства соединений Fe(VI).

8.1. Ферраты (VI) изоструктурны хроматам (VI) и сульфатам (VI). Какой вывод о растворимости в воде BaFeO₄ и K₂FeO₄ можно сделать на основании этих данных? Приведите способ получения BaFeO₄.

8.2. Какие свойства — окислительные или восстановительные — характерны для ферратов (VI)? Как влияет pH среды на устойчивость ферратов (VI)? В обоснование ответа приведите соответствующие уравнения реакций.



Тема 12

МЕДЬ, СЕРЕБРО, ЗОЛОТО: ЭЛЕКТРОННЫЕ АНАЛОГИ, А ТАКИЕ РАЗНЫЕ. «НЕПОХОЖАЯ» ПОХОЖЕСТЬ СВОЙСТВ

**Вырабатываем собственную точку зрения:
темы учебно-исследовательских задач**

1. Почему медь — благородный металл?
2. Самое удивительное в химии серебра.
3. Самое удивительное в химии золота.
4. Какие свойства определяют области практического использования меди, серебра, золота и их соединений?
5. Соединения серебра и золота в неустойчивых степенях окисления. Теоретический или практический интерес?
6. Сравнение химии меди, серебра и золота в степени окисления +1.

**Действуем самостоятельно:
экспериментальные задания по теме «Способы получения
и свойства важнейших соединений меди и серебра»**

Задания I уровня

1. Изучите лабораторный аналог промышленного электрохимического способа получения меди.
2. Изучите способы получения оксида меди (I) и предложите оптимальный в лабораторных условиях.
3. Изучите восстановительные свойства оксида меди (I).
4. Изучите лабораторный способ получения йодида меди (I).
5. Изучите лабораторный способ получения оксида серебра (I).
6. Изучите устойчивость галогенидов серебра (I) на свету.

Задания II уровня

1. Исследуйте способы получения и свойства комплексов серебра (I).
2. Исследуйте устойчивость гидроксида диамминсеребра (I) в присутствии ионов-осадителей.
3. Исследуйте устойчивость дитиосульфатоаргентата (I) натрия в присутствии ионов-осадителей.

Задания III уровня

1. Изучите отношение меди к разбавленным и концентрированным кислотам. Выберите и объясните оптимальный способ растворения меди в лабораторных условиях. План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.
2. Изучите кислотно-основные свойства оксида меди (I). План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.
3. Изучите способы получения, устойчивость на воздухе и свойства комплексов меди (I). План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.
4. Изучите способы получения оксида меди (II) и предложите оптимальный в лабораторных условиях. План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.
5. Сравните способы получения оксидов меди (I) и (II). Предложите оптимальные в лабораторных условиях и объясните свой выбор. План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.
6. Изучите кислотно-основные свойства оксида меди (II). План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.
7. Сравните кислотно-основные свойства оксидов меди (I) и (II). План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.
8. Изучите способы и условия получения гидроксида меди (II) и предложите оптимальный в лабораторных условиях. План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.
9. Изучите кислотно-основные свойства гидроксида меди (II). План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.



10. Определите с помощью рН-метра рН 0,1 моль/л раствора сульфата меди (II) и сравните с рассчитанным значением, полагая, что гидролиз соли протекает только по первой ступени. В случае несовпадения дайте теоретическое объяснение.

11. Сравните степень гидролиза по первой ступени 0,1 моль/л растворов солей меди (II), кобальта (II), никеля (II).

12. Изучите обратимый и необратимый гидролиз солей меди (II). План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.

13. Изучите способы получения и свойства комплексов меди (II). План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.

14. Сравните способы и условия получения комплексных соединений меди (I) и (II). План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.

15. Сравните способы получения и свойства комплексов меди (II), кобальта (II), никеля (II). План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.

16. Сравните восстановительные свойства оксида меди (I) и оксида меди (II).

17. Изучите кислотно-основные свойства оксида серебра (I). План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.

18. Сравните растворимость галогенидов серебра (I) в воде и растворах различных лигандов.

19. Сравните способы получения и свойства комплексов серебра (I) и меди (I).

Рекомендуемые опыты

1. В пробирку налейте насыщенный раствор сульфата меди (II) и опустите гранулу цинка или железный гвоздь.

2. К раствору фелинговой жидкости¹ прилейте раствор глюкозы. Смесь нагрейте и оставьте на воздухе до завершения реакции.

3. К оксиду меди (I) прилейте серной кислоты концентрированной и разбавленной; на холоду и при нагревании.

¹ Реактив Фелинга (медно-тарtratный реактив, фелингова жидкость) — состоит из равных объемов раствора сложной соли тартрата натрия-калия (сегнетова соль, натрий-калий виннокислый) в 10%-ном растворе NaOH и раствора сульфата меди.

4. К раствору сульфата меди (II) прилейте последовательно растворы йодида калия, крахмала и по каплям тиосульфата калия или натрия.

5. В первой пробирке к 1 мл разбавленного раствора нитрата серебра добавьте 5 мл разбавленного раствора гидроксида калия или натрия. В две другие пробирки налейте разбавленный раствор азотной кислоты (почему азотной?) и концентрированный раствор гидроксида калия или натрия, затем добавьте в каждую из них по каплям содержимое первой пробирки.

6. На три часовых стекла поместите по несколько капель нитрата серебра, а затем добавьте по каплям растворы хлорида натрия, бромида калия и йодида калия. Часовые стекла поставьте на светлое место.

7. Получите в трех пробирках хлорид, бромид и йодид серебра и добавьте в каждую 25%-ный раствор аммиака, взятый сначала в недостатке, а потом в избытке. Варьируйте количества растворов и порядок сливания.

8. Получите в трех пробирках хлорид, бромид и йодид серебра и добавьте в каждую раствор тиосульфата натрия, взятый сначала в недостатке, а потом в избытке. Варьируйте количества растворов и порядок сливания.

9. Получите в трех пробирках хлорид, бромид и йодид серебра и добавьте в каждую избыток раствора соответствующего галогенида калия или натрия. Варьируйте количества растворов и порядок сливания.

10. Получите в четырех пробирках гидроксид диамминсеребра (I) и добавьте соответственно хлорид натрия, бромид калия, йодид калия и сульфид калия, натрия или аммония. Варьируйте количества растворов и порядок сливания.

11. Получите в четырех пробирках дитиосульфатоаргентат (I) натрия и добавьте соответственно хлорид натрия, бромид калия, йодид калия и сульфид калия, натрия или аммония. Варьируйте количества растворов и порядок сливания.

Задания для самостоятельной работы и теоретического обсуждения эксперимента

1. Проиллюстрируйте изменение металлических свойств в ряду $\text{Cu} \rightarrow \text{Ag} \rightarrow \text{Au}$.



1.1. Приведите значения стандартных окислительно-восстановительных потенциалов Cu^+/Cu^0 , $\text{Cu}^{+2}/\text{Cu}^0$, Ag^+/Ag^0 , Au^+/Au^0 и $\text{Au}^{+3}/\text{Au}^0$.

1.2. Приведите все возможные реакции, с помощью которых можно растворить медь, серебро и золото.

1.3. Используя значения стандартных окислительно-восстановительных потенциалов, объясните причину растворения меди, серебра и золота в водных растворах цианидов щелочных элементов на воздухе. Возможен ли процесс растворения металлов в инертной атмосфере? В чем заключается роль цианид-ионов в растворении металлов?

1.4. Обобщите справочные и экспериментальные данные и сформулируйте вывод об изменении активности металлов в ряду $\text{Cu} - \text{Ag} - \text{Au}$.

2. Охарактеризуйте свойства комплексов $\text{Cu}(\text{I})$, $\text{Ag}(\text{I})$ и $\text{Au}(\text{I})$.

2.1. Сравните растворимость хлорида и сульфида серебра (I) в водном растворе аммиака.

2.2. Сравните растворимость хлоридов меди (I), серебра (I) и золота (I) в водных растворах аммиака и цианида калия.

2.3. Сравните растворимость галогенидов серебра (I) в избытке водных растворов соответствующих галогенидов щелочных элементов.

2.4. Сравните растворимость хлорида серебра (I) в водных растворах аммиака, галогенидов щелочных элементов и цианида калия.

2.5. Сравните растворимость хлорида золота (I) в водных растворах аммиака, цианида и роданида калия.

2.6. Обобщите все полученные расчетные данные и сделайте вывод, от каких факторов зависит растворимость осадков в водных растворах лигандов.

3. Охарактеризуйте термодинамическую устойчивость соединений $\text{Cu}(\text{I})$, $\text{Ag}(\text{I})$ и $\text{Au}(\text{I})$ в водных растворах.

3.1. Как изменится термодинамическая устойчивость степени окисления +1 в ряду $\text{Cu} - \text{Ag} - \text{Au}$, если значения первой энергии ионизации равны (эВ): 7,73 (Cu), 7,58 (Ag) и 9,22 (Au)?

3.2. Рассчитайте значения констант равновесия реакций диспропорционирования ионов $\text{Cu}(\text{I})$, $\text{Ag}(\text{I})$ и $\text{Au}(\text{I})$ в растворе.

3.3. Какие лиганды вызывают смещение равновесия



вправо, а какие — влево? Приведите соответствующие уравнения реакций.

3.4. Какие лиганды вызывают смещение равновесия



вправо, а какие — влево? Приведите соответствующие уравнения реакций.

3.5. Какой вывод о сравнительной термодинамической устойчивости степеней окисления Cu, Ag и Au можно сделать на основании полученных данных?

4. Сравните кислотно-основные свойства соединений Cu(I) и Cu(II).

4.1. Приведите уравнения реакций, иллюстрирующих кислотно-основные свойства оксида меди (I).

4.2. Приведите уравнения реакций, иллюстрирующих кислотно-основные свойства оксида меди (II).

4.3. Приведите уравнения реакций, иллюстрирующих кислотно-основные свойства гидроксида меди (II).

4.4. Какие свойства — кислотные или основные — преобладают для соединений Cu(I) и Cu(II)?

4.5. Как изменяются кислотно-основные свойства соединений меди с ростом степени окисления элемента?

5. Охарактеризуйте кислотно-основные свойства соединений Au(III):

5.1. Напишите уравнение реакции гидролиза AuCl_3 .

5.2. Напишите уравнения реакций взаимодействия Au_2O_3 и $\text{Au}(\text{OH})_3$ с кислотами и щелочами.

5.3. Напишите уравнения реакций взаимодействия галогенидов золота (III) с галогенидами щелочных элементов.

5.4. Сформулируйте вывод о кислотно-основных свойствах соединений золота (III).



Тема 13

ЦИНК, КАДМИЙ, РТУТЬ: S- ИЛИ D-ЭЛЕМЕНТЫ?

**Вырабатываем собственную точку зрения:
темы учебно-исследовательских задач**

1. Цинк, кадмий, ртуть: s- или d-элементы? Каких признаков больше?
2. Какие свойства определяют области практического использования цинка, кадмия, ртути и их соединений?

**Действуем самостоятельно:
экспериментальные задания по теме «Способы получения
и свойства важнейших соединений цинка и кадмия»**

Задание I уровня

Изучите влияние примесей на кинетику взаимодействия цинка с разбавленной серной кислотой.

Задания II уровня

1. Исследуйте растворимость сульфида цинка в кислотах различной природы.
2. Исследуйте растворимость сульфида кадмия в кислотах различной природы.

Задания III уровня

1. Изучите отношение цинка к разбавленным и концентрированным кислотам. Выберите и объясните оптимальный способ растворения цинка в лабораторных условиях. План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.
2. Изучите способы и условия получения гидроксида цинка. План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.

3. Изучите кислотно-основные свойства гидроксида цинка. План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.

4. Определите с помощью рН-метра рН 0,1 моль/л раствора хлорида цинка и сравните с рассчитанным значением, полагая, что гидролиз соли протекает только по первой ступени. В случае несовпадения дайте теоретическое объяснение.

5. Изучите обратимый и необратимый гидролиз солей цинка. План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.

6. Изучите способы получения и свойства комплексов цинка. План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем. В качестве исходного реагента используйте гидроксид цинка.

7. Изучите способы и условия получения сульфида цинка. План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.

8. Изучите способы и условия получения гидроксида кадмия. План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.

9. Изучите кислотно-основные свойства гидроксида кадмия. План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.

10. Определите с помощью рН-метра рН 0,1 моль/л раствора хлорида кадмия и сравните с рассчитанным значением, полагая, что гидролиз соли протекает только по первой ступени. В случае несовпадения дайте теоретическое объяснение.

11. Изучите обратимый и необратимый гидролиз солей кадмия. План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.

12. Изучите способы получения и свойства комплексов кадмия. План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.

13. Изучите способы и условия получения сульфида кадмия. План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.

14. Сравните способы и условия получения гидроксидов цинка и кадмия. План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.

15. Сравните кислотно-основные свойства гидроксидов цинка и кадмия. План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.



16. Сравните способы и условия получения комплексных соединений цинка и кадмия. План проведения эксперимента составьте самостоятельно и обсудите его с преподавателем.

17. Сравните степень гидролиза по первой ступени 0,1 моль/л растворов солей цинка и кадмия.

18. Сравните лабораторные способы получения сульфидов цинка и кадмия.

19. Сравните растворимость сульфидов цинка и кадмия в кислотах различной природы.

Рекомендуемые опыты

1. В пробирку с гранулами цинка прилейте 3—5 мл 1 моль/л раствора серной кислоты. Запишите ваши наблюдения. Затем добавьте 2—3 капли насыщенного раствора сульфата меди. Что наблюдаете теперь?

2. Получите разными способами сульфид цинка. Разделите осадок на несколько пробирок. Слейте, если есть, избыток жидкости декантацией. Исследуйте отношение сульфида цинка к разбавленной и концентрированной соляной, серной, азотной кислотам, взятым сначала в недостатке, а потом в избытке. Варьируйте количества растворов и порядок сливания.

3. Получите разными способами сульфид кадмия. Разделите осадок на несколько пробирок. Слейте, если есть, избыток жидкости декантацией. Исследуйте отношение сульфида кадмия к разбавленной и концентрированной соляной, серной, азотной кислотам, взятым сначала в недостатке, а потом в избытке. Варьируйте количества растворов и порядок сливания.

Задания для самостоятельной работы и теоретического обсуждения эксперимента

1. Чем объяснить, что для ртути характерна переменная степень окисления (+1) и (+2)?

2. Проиллюстрируйте изменение металлических свойств в ряду $\text{Zn} \rightarrow \text{Cd} \rightarrow \text{Hg}$.

2.1. Приведите значения стандартных окислительно-восстановительных потенциалов систем $\text{Zn}^{\text{II}}/\text{Zn}^0$ и $\text{Cd}^{\text{II}}/\text{Cd}^0$ в кислой и щелочной средах и полные уравнения химических реакций.

2.2. Приведите значение стандартного окислительно-восстановительного потенциала системы $\text{Hg}^{2+}/\text{Hg}^0$ в кислой среде и полные уравнения химических реакций.

2.3. Как изменяется химическая активность в ряду $\text{Zn} — \text{Cd} — \text{Hg}$?

3. Охарактеризуйте термическую устойчивость соединений Zn(II) , Cd(II) и Hg(II) .

3.1. Приведите температуры разложения оксидов Zn(II) , Cd(II) и Hg(II) .

3.2. Рассмотрите особенности термоллиза нитратов Zn(II) , Cd(II) и Hg(II) .

3.3. Как меняется термическая устойчивость в ряду соединений Zn(II) , Cd(II) и Hg(II) ? Где находит применение термическая неустойчивость этих соединений?

4. Охарактеризуйте кислотно-основные свойства соединений Zn(II) , Cd(II) и Hg(II) .

4.1. Охарактеризуйте отношение оксидов Zn(II) , Cd(II) и Hg(II) к кислотам и щелочам. В обоснование ответа приведите соответствующие уравнения реакций.

4.2. Вычислите $\Delta_r G_{298}^0$ реакций взаимодействия Zn(OH)_2 и Cd(OH)_2 с ионами H^+ и OH^- в растворе.

4.3. Обобщите расчетные и экспериментальные данные и сформулируйте вывод об изменении кислотно-основных свойств в ряду соединений $\text{Zn(II)} — \text{Cd(II)} — \text{Hg(II)}$.

5. Охарактеризуйте свойства комплексов Zn(II) , Cd(II) и Hg(II) .

5.1. Сравните растворимость гидроксидов Zn(II) и Cd(II) в водном растворе аммиака.

5.2. Объясните увеличение координационного числа центрального атома в амминных и гидроксокомплексах Zn(II) и Cd(II) .

5.3. Аналогичны ли по природе и составу продукты, образующиеся при пропускании аммиака в растворы нитратов Zn(II) , Cd(II) и Hg(II) ?

6. Охарактеризуйте устойчивость и окислительно-восстановительные свойства соединений $(\text{Hg}_2)^{2+}$.

6.1. Рассчитайте константу равновесия реакции диспропорционирования иона $(\text{Hg}_2)^{2+}$ на Hg^{2+} и Hg^0 в растворе при $T = 298 \text{ K}$.

6.2. В каком направлении должно сместиться равновесие реакции диспропорционирования при добавлении к раствору $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$ сульфид-ионов, хлорид-ионов или йодид-ионов?

6.3. Какие свойства — окислительные или восстановительные — проявляют соединения $(\text{Hg}_2)^{2+}$?

6.4. Как можно предотвратить диспропорционирование соединений $(\text{Hg}_2)^{2+}$ в растворе?



Приложения

Приложение 1

Константы диссоциации кислот в водном растворе при $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$

Диссоциация кислот в водном растворе в упрощенном виде описывается уравнением:



Данное равновесие характеризуется общей константой диссоциации:

$$K_a = [\text{H}^+]^n [\text{A}^{n-}] / [\text{H}_n\text{A}]$$

Например, диссоциация сероводородной кислоты описывается уравнением:



и общей константой диссоциации:

$$K_a = [\text{H}^+]^2 [\text{S}^{2-}] / [\text{H}_2\text{S}]$$

Многоосновные кислоты диссоциируют ступенчато, например,



Соответствующие константы:

$$K_1 = [\text{H}^+] [\text{HS}^-] / [\text{H}_2\text{S}]$$

$$K_2 = [\text{H}^+] [\text{S}^{2-}] / [\text{HS}^-]$$



называются ступенчатыми (K_i) и связаны с общей константой равенством:

$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \text{ и т. д.}$$

В табл. П1 приведены значения ступенчатых констант диссоциации K_i и $pK_i = -\lg K_i$. Для одноосновных кислот возможно одно значение константы, поэтому в графе K_i стоит прочерк.

Таблица П1

Значения констант диссоциации кислот в водном растворе при $t = 25^\circ \text{C}$

Формула	K_i	Значение	pK_i	Формула	K_i	Значение	pK_i
H_3BO_3	K_1	$7,1 \cdot 10^{-10}$	9,15	H_2SO_3	K_1	$1,4 \cdot 10^{-2}$	1,85
$\text{H}_2\text{B}_4\text{O}_7$	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_2SO_4	K_1	—	—3
$\text{CO}_{2(\text{aq})} + \text{H}_2\text{O}$	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_2Se	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_3COOH	—	$1,74 \cdot 10^{-5}$	4,76	H_2SeO_3	K_1	$1,8 \cdot 10^{-3}$	2,75
$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$	K_1	$5,6 \cdot 10^{-2}$	1,25		K_2	$3,2 \cdot 10^{-9}$	8,50
	K_2	$5,4 \cdot 10^{-5}$	4,27	H_2SeO_4	K_1	—	—1,0
HCN	—	$5,0 \cdot 10^{-10}$	9,30		K_2	$1,2 \cdot 10^{-2}$	1,92
HNCO	—	$1,2 \cdot 10^{-4}$	3,92	H_2Te	K_1	$2,3 \cdot 10^{-3}$	2,64
HNCS	—	0,5	0,30		K_2	$6,9 \cdot 10^{-13}$	12,16
H_4SiO_4	K_1	$1,3 \cdot 10^{-10}$	9,89	H_2TeO_3	K_1	$2,7 \cdot 10^{-3}$	2,57
H_2SiF_6	K_1	4	—0,60		K_2	$1,8 \cdot 10^{-8}$	7,74
H_4GeO_4	K_1	$7,9 \cdot 10^{-10}$	9,10	H_6TeO_6	K_1	$2,45 \cdot 10^{-8}$	7,61
	K_2	$2,0 \cdot 10^{-13}$	12,70		K_2	$1,1 \cdot 10^{-11}$	10,96
HN_3	—	$2,0 \cdot 10^{-5}$	4,70		K_3	$1,1 \cdot 10^{-15}$	14,96
HNO_2	—	$5,1 \cdot 10^{-4}$	3,29	HF	—	$6,2 \cdot 10^{-4}$	3,21
HNO_3	—	—	—1,32	HCl	—	—	—7



Формула	K _i	Значение	pK _i	Формула	K _i	Значение	pK _i
H ₃ PO ₂	—	5,9·10 ⁻²	1,23	HBr	—	—	—9
H ₃ PO ₃	K ₁	3,1·10 ⁻²	1,51	HI	—	—	—10
	K ₂	1,6·10 ⁻⁷	6,79	HClO	—	2,95·10 ⁻⁸	7,53
H ₃ PO ₄	K ₁	7,1·10 ⁻³	2,15	HClO ₂	—	1,1·10 ⁻²	1,97
	K ₂	6,2·10 ⁻⁸	7,21	HClO ₃	—	—	—1,2
	K ₃	5,0·10 ⁻¹³	12,30	HClO ₄	—	—	—10
H ₄ P ₂ O ₇	K ₁	10 ⁻¹	1	HBrO	—	2,2·10 ⁻⁹	8,66
	K ₂	1,5·10 ⁻²	1,82	HBrO ₃	—	2,0·10 ⁻¹	0,70
	K ₃	2,7·10 ⁻⁷	6,57	HIO	—	2,3·10 ⁻¹¹	10,64
	K ₄	2,4·10 ⁻¹⁰	9,62	HIO ₃	—	1,7·10 ⁻¹	0,77
(HPO ₃) ₃	K ₃	9·10 ⁻³	2,05	H ₅ IO ₆	K ₁	2,45·10 ⁻²	1,61
(HPO ₃) ₄	K ₄	~ 10 ⁻³	~ 3		K ₂	4,3·10 ⁻⁹	8,33
H ₃ AsO ₃	K ₁	5,9·10 ⁻¹⁰	9,23		K ₃	1,0·10 ⁻¹⁵	15,0
H ₃ AsO ₄	K ₁	5,6·10 ⁻³	2,25	H ₃ VO ₄	K ₁	1,8·10 ⁻⁴	3,74
	K ₂	1,7·10 ⁻⁷	6,77		K ₂	3,2·10 ⁻¹⁰	9,50
	K ₃	2,95·10 ⁻¹²	11,53		K ₃	4,0·10 ⁻¹⁵	14,4
[HSb(OH) ₆]	—	4,0·10 ⁻⁵	4,40	H ₂ Cr ₂ O ₇	K ₂	2,3·10 ⁻²	1,64
H ₂ O ₂	—	2,0·10 ⁻¹²	11,70	H ₂ CrO ₄	K ₁	1,6·10 ⁻¹	0,80
H ₂ S	K ₁	1,0·10 ⁻⁷	7,00		K ₂	3,2·10 ⁻⁷	6,50
	K ₂	1,3·10 ⁻¹³	12,89	H ₂ MnO ₄	K ₁	~ 10 ⁻¹	~ 1
H ₂ S ₂ O ₃	K ₁	2,5·10 ⁻¹	0,60		K ₂	7,1·10 ⁻¹¹	10,15
	K ₂	1,9·10 ⁻²	1,72	—	—	—	—
H ₂ S ₂ O ₆	K ₁	6,3·10 ⁻¹	0,20	—	—	—	—
	K ₂	4,0·10 ⁻⁴	3,40	—	—	—	—



Константы диссоциации оснований в водном растворе при $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$

Диссоциация оснований в водном растворе описывается уравнением



Данное равновесие характеризуется общей константой диссоциации:

$$K_b = [\text{M}^{n+}] [\text{OH}^-]^n / [\text{M}(\text{OH})_n]$$

Например, диссоциация гидроксида меди (II) описывается уравнением:



и общей константой диссоциации:

$$K_b = [\text{Cu}^{2+}] [\text{OH}^-]^2 / [\text{Cu}(\text{OH})_2]$$

Основания многовалентных металлов диссоциируют ступенчато, например,



Соответствующие константы:

$$K_1 = [\text{CuOH}^+] [\text{OH}^-] / [\text{Cu}(\text{OH})_2]$$

$$K_2 = [\text{Cu}^{2+}] [\text{OH}^-] / [\text{CuOH}^+]$$

называются ступенчатыми (K_i) и связаны с общей константой уравнением:

$$K_b = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \text{ и т. д.}$$

В таблице приведены значения ступенчатых констант диссоциации K_i и $\text{p}K_i = -\lg K_i$. Для оснований одновалентных металлов возможно одно значение константы, поэтому в графе K_i стоит прочерк.



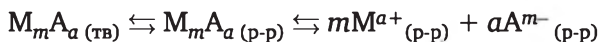
Значения констант диссоциации оснований в водном растворе при $t = 25^\circ\text{C}$

Формула	K_i	Значение	pK_i	Формула	K_i	Значение	pK_i
AgOH	K_1	$9,8 \cdot 10^{-3}$	2,01	KOH	—	—	-0,46
Al(OH) ₃	K_1	$7,4 \cdot 10^{-9}$	8,13	LiOH	—	0,44	0,36
	K_2	$2,1 \cdot 10^{-9}$	8,68	Mg(OH) ₂	K_2	$2,6 \cdot 10^{-3}$	2,58
	K_3	$1,0 \cdot 10^{-9}$	9,00	Mn(OH) ₂	K_2	$3,9 \cdot 10^{-4}$	3,41
Ba(OH) ₂	K_2	0,23	0,64	NH ₃ ·H ₂ O	—	$1,74 \cdot 10^{-5}$	4,76
Be(OH) ₂	K_1	$3,2 \cdot 10^{-7}$	6,50	N ₂ H ₄ ·H ₂ O	—	$1,7 \cdot 10^{-6}$	5,77
	K_2	$5,0 \cdot 10^{-9}$	8,30	NH ₂ OH·H ₂ O	—	$1,1 \cdot 10^{-8}$	7,96
Bi(OH) ₃	K_1	$3,1 \cdot 10^{-12}$	11,51	NaOH	—	—	-0,18
	K_2	$1,0 \cdot 10^{-12}$	12,00	Ni(OH) ₂	K_2	$3 \cdot 10^{-5}$	4,52
	K_3	$3,7 \cdot 10^{-13}$	12,43	Pb(OH) ₂	K_1	$5,0 \cdot 10^{-4}$	3,30
Ca(OH) ₂	K_2	0,06	1,22		K_2	$1,4 \cdot 10^{-8}$	7,85
Cd(OH) ₂	K_1	$8,1 \cdot 10^{-4}$	3,09	Sb(OH) ₃	K_1	$1,4 \cdot 10^{-13}$	12,85
	K_2	$4,2 \cdot 10^{-7}$	6,38	Sc(OH) ₃	K_1	$3,2 \cdot 10^{-8}$	7,49
Co(OH) ₂	K_2	$4 \cdot 10^{-5}$	4,40		K_2	$5,0 \cdot 10^{-9}$	8,30
Cr(OH) ₃	K_2	$3,5 \cdot 10^{-9}$	8,46		K_3	$4,1 \cdot 10^{-10}$	9,39
	K_3	$8,9 \cdot 10^{-11}$	10,05	Sn(OH) ₂	K_1	$3,5 \cdot 10^{-10}$	9,46
Cu(OH) ₂	K_2	$2,2 \cdot 10^{-7}$	6,66		K_2	$1,3 \cdot 10^{-12}$	11,89
Fe(OH) ₂	K_2	$1 \cdot 10^{-4}$	4,00	Sn(OH) ₄	K_1	$1,7 \cdot 10^{-13}$	12,77
Fe(OH) ₃	K_1	$4,8 \cdot 10^{-11}$	10,32		K_2	$2,1 \cdot 10^{-14}$	13,68
	K_2	$1,8 \cdot 10^{-11}$	10,74	Sr(OH) ₂	K_2	0,15	0,82
	K_3	$1,5 \cdot 10^{-12}$	11,82	Tl(OH) ₃	K_1	$6,6 \cdot 10^{-13}$	12,18
Ga(OH) ₃	K_1	$3,8 \cdot 10^{-8}$	7,42		K_2	$4,8 \cdot 10^{-13}$	12,32
	K_2	$2 \cdot 10^{-11}$	10,70		K_3	$1,7 \cdot 10^{-13}$	12,77
	K_3	$4 \cdot 10^{-12}$	11,40	Zn(OH) ₂	K_1	$1,3 \cdot 10^{-5}$	4,89
In(OH) ₃	K_1	$1,3 \cdot 10^{-9}$	8,89		K_2	$4,9 \cdot 10^{-7}$	6,31
	K_2	$1,7 \cdot 10^{-10}$	9,77	—	—	—	—
	K_3	$3,8 \cdot 10^{-11}$	10,42	—	—	—	—



Произведения растворимости и растворимости малорастворимых веществ

Произведение растворимости (ПР) характеризует состояние равновесия между насыщенным водным раствором малорастворимого сильного электролита, его осадком и образовавшимися ионами. Эти равновесия описываются уравнением:



и константой равновесия, которая для данного случая и носит название произведения растворимости:

$$ПР = [M^{a+}]^m [A^{m-}]^a.$$

Значение произведения растворимости, как и любой константы равновесия, зависит от температуры. В таблице ПР приведены при температуре $t = 25^\circ\text{C}$, кроме тех, которые отмечены значком (*). Данные величины определены при комнатной температуре $t = (18 \div 25)^\circ\text{C}$. Для двойных, смешанных и гидроксолей, диссоциация которых описывается другим уравнением, рядом с формулой стоит ссылка, а соответствующее уравнение приведено в конце таблицы.

Произведение растворимости показывает, чем меньше его величина, тем менее растворимым является данное вещество. Для сравнения растворимости двух и более веществ необходимо пользоваться коэффициентами растворимости (s), которые показывают массу растворенного вещества ($г$) в 1 л воды. В табл. ПЗ также представлена растворимость, выраженная в моль/л. Комплексные соединения расположены в соответствии с латинским алфавитом символа центрального атома.



**Значения произведений растворимости
и растворимости малорастворимых веществ**

Элемент	Вещество	ПР	s, моль/л	s, г/л
Ag	Ag ₃ AsO ₃	4,5·10 ⁻¹⁹	1,1·10 ⁻⁵	5,1·10 ⁻³
	Ag ₃ AsO ₄	1,0·10 ⁻²²	1,4·10 ⁻⁶	6,1·10 ⁻⁴
	AgBr	5,0·10 ⁻¹³	7,1·10 ⁻⁷	1,3·10 ⁻⁴
	AgBrO ₃	5,8·10 ⁻⁵	7,6·10 ⁻³	1,8
	AgCH ₃ COO	4,4·10 ⁻³	6,6·10 ⁻²	11
	AgCN	7,0·10 ⁻¹⁵	8,4·10 ⁻⁸	1,1·10 ⁻⁵
	Ag ₂ CO ₃	8,7·10 ⁻¹²	1,3·10 ⁻⁴	3,6·10 ⁻²
	Ag ₂ C ₂ O ₄	1,1·10 ⁻¹¹	1,4·10 ⁻⁴	4,3·10 ⁻²
	AgCl	1,8·10 ⁻¹⁰	1,3·10 ⁻⁵	1,9·10 ⁻³
	AgClO ₂	2,0·10 ⁻⁴	1,4·10 ⁻²	2,5
	Ag ₂ CrO ₄	1,2·10 ⁻¹²	6,6·10 ⁻⁵	2,2·10 ⁻²
	Ag ₂ Cr ₂ O ₇	2,0·10 ⁻⁷	3,7·10 ⁻³	1,6
	AgI	2,3·10 ⁻¹⁶	1,5·10 ⁻⁸	3,6·10 ⁻⁶
	AgIO ₃	3,2·10 ⁻⁸	1,8·10 ⁻⁴	5,1·10 ⁻²
	AgMnO ₄	1,6·10 ⁻³ (*)	4,0·10 ⁻²	9,1
	Ag ₂ MoO ₄	2,8·10 ⁻¹²	8,9·10 ⁻⁵	3,3·10 ⁻²
	AgN ₃	2,9·10 ⁻⁹ (*)	5,4·10 ⁻⁵	8,1·10 ⁻³
	AgNO ₂	3,1·10 ⁻¹⁰	1,8·10 ⁻⁵	2,7·10 ⁻³
	AgNCO	2,3·10 ⁻⁷ (*)	4,8·10 ⁻⁴	7,2·10 ⁻²
	Ag ₃ PO ₄	1,8·10 ⁻¹⁸	1,6·10 ⁻⁵	6,7·10 ⁻³
	Ag ₂ (PO ₃ F)	8,9·10 ⁻⁴	6,1·10 ⁻²	19
	AgReO ₄	8,0·10 ⁻⁵	8,9·10 ⁻³	3,2
	Ag ₂ S	7,2·10 ⁻⁵⁰	2,6·10 ⁻¹⁷	6,5·10 ⁻¹⁵
	AgSCN	1,6·10 ⁻¹²	1,3·10 ⁻⁶	2,1·10 ⁻⁴
	Ag ₂ SO ₃	1,5·10 ⁻¹⁴	1,6·10 ⁻⁵	4,6·10 ⁻³
	Ag ₂ SO ₄	1,2·10 ⁻⁵	1,4·10 ⁻²	4,5
	Ag ₂ Se	2,5·10 ⁻⁵⁹	1,8·10 ⁻²⁰	5,4·10 ⁻¹⁸



Элемент	Вещество	ПР	s, моль/л	s, г/л
	AgSeCN	$4,0 \cdot 10^{-16} (*)$	$2,0 \cdot 10^{-8}$	$4,3 \cdot 10^{-6}$
	Ag ₂ SeO ₃	$3,1 \cdot 10^{-16}$	$4,3 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$
	Ag ₂ SeO ₄	$1,2 \cdot 10^{-9}$	$6,7 \cdot 10^{-4}$	$2,4 \cdot 10^{-1}$
	Ag ₂ Te	$4,7 \cdot 10^{-52}$	$4,9 \cdot 10^{-18}$	$1,7 \cdot 10^{-17}$
	Ag ₂ WO ₄	$5,6 \cdot 10^{-12}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$5,2 \cdot 10^{-2}$
Al	AlAsO ₄	$1,6 \cdot 10^{-16} (*)$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-6}$
	K ₃ [AlF ₆]	$1,6 \cdot 10^{-9} (*)$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$7,2 \cdot 10^{-1}$
	Na[AlF ₄]	$1,1 \cdot 10^{-8}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$
	Na ₃ [AlF ₆]	$7,8 \cdot 10^{-14}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$4,9 \cdot 10^{-2}$
	Al(OH) ₃	$3,2 \cdot 10^{-34}$	$1,9 \cdot 10^{-9}$	$1,5 \cdot 10^{-7}$
	AlPO ₄	$1,7 \cdot 10^{-19}$	$4,1 \cdot 10^{-10}$	$5,0 \cdot 10^{-8}$
Au	AuBr	$5,0 \cdot 10^{-17} (*)$	$7,1 \cdot 10^{-9}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$
	AuCl	$1,8 \cdot 10^{-12}$	$1,3 \cdot 10^{-6}$	$3,1 \cdot 10^{-4}$
	Cs[AuCl ₄]	$1,0 \cdot 10^{-3} (*)$	$3,2 \cdot 10^{-2}$	15
	AuI	$1,6 \cdot 10^{-23} (*)$	$4,0 \cdot 10^{-12}$	$1,3 \cdot 10^{-9}$
B	Cs[BF ₄]	$2,0 \cdot 10^{-5} (*)$	$4,5 \cdot 10^{-3}$	$9,8 \cdot 10^{-1}$
	K[BF ₄]	$2,0 \cdot 10^{-3} (*)$	$4,5 \cdot 10^{-2}$	5,6
	Rb[BF ₄]	$1,0 \cdot 10^{-3} (*)$	$3,2 \cdot 10^{-2}$	5,5
	Cs[BH ₄]	$2,5 \cdot 10^{-7} (*)$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$7,4 \cdot 10^{-2}$
	K[BH ₄]	$1,3 \cdot 10^{-3} (*)$	$3,6 \cdot 10^{-2}$	1,9
	Rb[BH ₄]	$2,5 \cdot 10^{-4} (*)$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	1,6
Ba	Ba ₃ (AsO ₄) ₂	$7,8 \cdot 10^{-51} (*)$	$3,7 \cdot 10^{-11}$	$2,6 \cdot 10^{-8}$
	Ba(BrO ₃) ₂	$3,3 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	7,9
	BaCO ₃	$4,9 \cdot 10^{-9}$	$7,0 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$
	BaC ₂ O ₄	$1,1 \cdot 10^{-7}$	$3,3 \cdot 10^{-4}$	$7,5 \cdot 10^{-2}$
	BaCrO ₄	$1,1 \cdot 10^{-10}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$
	BaF ₂	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$7,6 \cdot 10^{-3}$	1,3
	Ba(IO ₃) ₂	$6,5 \cdot 10^{-10}$	$5,5 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{-1}$
	BaMnO ₄	$2,5 \cdot 10^{-10}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$4,1 \cdot 10^{-3}$



Элемент	Вещество	ПР	s, моль/л	s, г/л
	BaMoO ₄	4,9·10 ⁻⁹	7,0·10 ⁻⁵	2,1·10 ⁻²
	Ba ₂ P ₂ O ₇	3,0·10 ⁻¹¹ (*)	2,0·10 ⁻⁴	8,8·10 ⁻²
	Ba ₃ (PO ₄) ₂	6,0·10 ⁻³⁹ (*)	8,9·10 ⁻⁹	5,4·10 ⁻⁶
	Ba(PO ₃ F)	4,0·10 ⁻⁷ (*)	6,3·10 ⁻⁴	1,5·10 ⁻¹
	BaSO ₃	3,3·10 ⁻¹¹ (*)	5,7·10 ⁻⁶	1,2·10 ⁻³
	BaSO ₄	1,8·10 ⁻¹⁰	1,3·10 ⁻⁵	3,1·10 ⁻³
	BaS ₂ O ₃	1,6·10 ⁻⁵ (*)	4,0·10 ⁻³	1,0
	BaSeO ₃	3,1·10 ⁻⁷	5,6·10 ⁻⁴	1,5·10 ⁻¹
	BaSeO ₄	3,1·10 ⁻⁸	1,8·10 ⁻⁴	5,0·10 ⁻²
	BaWO ₄	1,8·10 ⁻⁹	4,2·10 ⁻⁵	1,6·10 ⁻²
Be	Be(OH) ₂	8,0·10 ⁻²²	5,9·10 ⁻⁸	2,5·10 ⁻⁶
	Be ₂ SiO ₄	6,1·10 ⁻⁴³	5,3·10 ⁻¹⁵	5,9·10 ⁻¹³
Bi	BiAsO ₄	4,4·10 ⁻¹⁰	2,1·10 ⁻⁵	7,3·10 ⁻³
	Bi ₂ (C ₂ O ₄) ₃	4,0·10 ⁻³⁶ (*)	3,3·10 ⁻⁸	2,2·10 ⁻⁵
	BiI ₃	8,1·10 ⁻¹⁹ (*)	1,3·10 ⁻⁵	7,8·10 ⁻³
	Bi(OH) ₃	3,0·10 ⁻³⁶	5,8·10 ⁻¹⁰	1,5·10 ⁻⁷
	BiOCl ⁽¹⁾	3,4·10 ⁻³⁶	1,8·10 ⁻¹⁸	4,8·10 ⁻¹⁶
	BiOOH ⁽²⁾	4,9·10 ⁻¹⁰	2,2·10 ⁻⁵	5,4·10 ⁻³
	BiPO ₄	1,0·10 ⁻²³	3,2·10 ⁻¹²	9,8·10 ⁻¹⁰
	Bi ₂ S ₃	8,9·10 ⁻¹⁰⁵	6,1·10 ⁻²²	3,1·10 ⁻¹⁹
	Bi ₂ Se ₃	2,0·10 ⁻¹²¹	2,8·10 ⁻²⁵	1,9·10 ⁻²²
	Bi ₂ Te ₃	2,5·10 ⁻¹⁴³	1,2·10 ⁻²⁹	9,5·10 ⁻²⁷
Ca	Ca ₃ (AsO ₄) ₂	6,8·10 ⁻¹⁹ (*)	9,1·10 ⁻⁵	3,6·10 ⁻²
	CaCO ₃	4,4·10 ⁻⁹	6,6·10 ⁻⁵	6,6·10 ⁻³
	CaC ₂ O ₄	2,3·10 ⁻⁹ (*)	4,8·10 ⁻⁵	6,1·10 ⁻³
	CaF ₂	4,0·10 ⁻¹¹	2,1·10 ⁻⁴	1,7·10 ⁻²
	CaHPO ₄	2,2·10 ⁻⁷	4,7·10 ⁻⁴	6,4·10 ⁻²
	Ca(H ₂ PO ₄) ₂	1,0·10 ⁻³ (*)	6,3·10 ⁻²	15
	Ca(IO ₃) ₂	1,9·10 ⁻⁶	7,8·10 ⁻³	3,1



Элемент	Вещество	ПР	s, моль/л	s, г/л
	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2^{(3)}$	$3,6 \cdot 10^{-16}$	$9,7 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-2}$
	CaMoO_4	$3,2 \cdot 10^{-9}$	$5,6 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$
	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	$6,3 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$8,6 \cdot 10^{-1}$
	$\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$	$1,5 \cdot 10^{-17}$	$1,6 \cdot 10^{-6}$	$3,9 \cdot 10^{-4}$
	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	$1,0 \cdot 10^{-25}$	$3,9 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$
	$\text{Ca}(\text{PO}_3\text{F})$	$4,0 \cdot 10^{-3} (*)$	$6,3 \cdot 10^{-2}$	8,7
	CaSO_3	$3,2 \cdot 10^{-7} (*)$	$5,7 \cdot 10^{-4}$	$6,8 \cdot 10^{-2}$
	CaSO_4	$3,7 \cdot 10^{-5}$	$6,1 \cdot 10^{-3}$	$8,3 \cdot 10^{-1}$
	CaSeO_3	$4,7 \cdot 10^{-6} (*)$	$2,2 \cdot 10^{-2}$	$3,6 \cdot 10^{-1}$
	Ca_2SiO_4	$1,2 \cdot 10^{-12}$	$6,7 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$
	CaWO_4	$1,6 \cdot 10^{-9}$	$4,0 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$
Cd	$\text{Cd}_3(\text{AsO}_4)_2$	$2,2 \cdot 10^{-33} (*)$	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$7,1 \cdot 10^{-5}$
	$\text{Cd}(\text{CN})_2$	$1,0 \cdot 10^{-8} (*)$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-1}$
	CdCO_3	$2,5 \cdot 10^{-14}$	$1,6 \cdot 10^{-7}$	$2,7 \cdot 10^{-5}$
	CdC_2O_4	$1,5 \cdot 10^{-8} (*)$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$
	CdF_2	$6,4 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-1}$	6,2
	$\text{Cd}(\text{OH})_2$	$4,3 \cdot 10^{-15}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$
	$\text{Cd}(\text{OH})_{2(\text{аморфн})}$	$2,2 \cdot 10^{-14} (*)$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$
	$\text{Cd}_3(\text{PO}_4)_2$	$2,5 \cdot 10^{-33}$	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$6,2 \cdot 10^{-5}$
	CdS	$6,5 \cdot 10^{-28}$	$2,5 \cdot 10^{-14}$	$3,7 \cdot 10^{-12}$
	CdSe	$1,1 \cdot 10^{-33}$	$3,3 \cdot 10^{-17}$	$6,2 \cdot 10^{-15}$
	CdSeO_3	$5,0 \cdot 10^{-9} (*)$	$7,1 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-2}$
	CdTe	$8,7 \cdot 10^{-35}$	$9,3 \cdot 10^{-18}$	$2,2 \cdot 10^{-15}$
Ce	$\text{Ce}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3$	$2,5 \cdot 10^{-29}$	$7,5 \cdot 10^{-7}$	$4,1 \cdot 10^{-4}$
	CeF_3	$3,2 \cdot 10^{-17}$	$3,3 \cdot 10^{-5}$	$6,5 \cdot 10^{-3}$
	$\text{Ce}(\text{IO}_3)_3$	$3,5 \cdot 10^{-10}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$	13
	$\text{Ce}(\text{IO}_3)_4$	$5,0 \cdot 10^{-17} (*)$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-1}$
	$\text{Ce}(\text{OH})_3$	$6,4 \cdot 10^{-22}$	$2,2 \cdot 10^{-6}$	$4,2 \cdot 10^{-4}$
	CePO_4	$5,1 \cdot 10^{-22}$	$2,3 \cdot 10^{-11}$	$5,3 \cdot 10^{-9}$



Элемент	Вещество	ПР	s, моль/л	s, г/л
Co	$\text{Co}_3(\text{AsO}_4)_2$	$7,6 \cdot 10^{-29} (*)$	$9,3 \cdot 10^{-7}$	$4,2 \cdot 10^{-4}$
	$\text{Ag}_3[\text{Co}(\text{CN})_6]$	$3,9 \cdot 10^{-26} (*)$	$1,9 \cdot 10^{-7}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$
	CoCO_3	$1,5 \cdot 10^{-10}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$
	CoC_2O_4	$6,3 \cdot 10^{-8} (*)$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$3,7 \cdot 10^{-2}$
	$\text{Co}(\text{IO}_3)_2$	$1,0 \cdot 10^{-4} (*)$	$2,9 \cdot 10^{-2}$	12
	$\text{Cs}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$	$5,8 \cdot 10^{-16} (*)$	$6,8 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^{-2}$
	$\text{K}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$	$4,3 \cdot 10^{-10} (*)$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$9,0 \cdot 10^{-1}$
	$(\text{NH}_4)_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$	$7,6 \cdot 10^{-6} (*)$	$2,3 \cdot 10^{-2}$	9,0
	$\text{Rb}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$	$1,5 \cdot 10^{-15} (*)$	$8,6 \cdot 10^{-5}$	$5,1 \cdot 10^{-2}$
	$\text{Ti}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$	$1,0 \cdot 10^{-16} (*)$	$4,4 \cdot 10^{-5}$	$4,2 \cdot 10^{-2}$
	$\text{Co}(\text{OH})_{2(\text{голубой})}$	$6,3 \cdot 10^{-15}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$
	$\text{Co}(\text{OH})_{2(\text{розовый})}$	$1,6 \cdot 10^{-15}$	$7,4 \cdot 10^{-6}$	$6,8 \cdot 10^{-4}$
	$\text{Co}(\text{OH})_{2(\text{роз.состар})}$	$2,0 \cdot 10^{-16}$	$3,7 \cdot 10^{-6}$	$3,4 \cdot 10^{-4}$
	$\text{Co}_3(\text{PO}_4)_2$	$2,0 \cdot 10^{-35}$	$4,5 \cdot 10^{-8}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$
	CoS	$1,8 \cdot 10^{-20}$	$1,3 \cdot 10^{-10}$	$1,2 \cdot 10^{-8}$
	$\text{Co}(\text{S}_2)$	$7,3 \cdot 10^{-29}$	$8,5 \cdot 10^{-15}$	$1,1 \cdot 10^{-12}$
	CoSeO_3	$1,6 \cdot 10^{-7} (*)$	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$7,4 \cdot 10^{-2}$
	CoWO_4	$3,6 \cdot 10^{-10}$	$1,9 \cdot 10^{-5}$	$5,8 \cdot 10^{-3}$
Cr	CrAsO_4	$7,8 \cdot 10^{-21} (*)$	$8,8 \cdot 10^{-11}$	$1,7 \cdot 10^{-8}$
	$\text{Cr}(\text{OH})_2$	$9,7 \cdot 10^{-18}$	$1,3 \cdot 10^{-6}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$
	$\text{Cr}(\text{OH})_3$	$6,3 \cdot 10^{-31}$	$1,2 \cdot 10^{-8}$	$1,3 \cdot 10^{-6}$
	$\text{Cr}(\text{OH})_{3(\text{аморфн})}$	$1,1 \cdot 10^{-30}$	$1,4 \cdot 10^{-8}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$
	CrPO_4	$1,0 \cdot 10^{-17} (*)$	$3,2 \cdot 10^{-9}$	$4,6 \cdot 10^{-7}$
	CrS	$2,0 \cdot 10^{-18} (*)$	$1,4 \cdot 10^{-9}$	$1,2 \cdot 10^{-7}$
Cs	CsBrO_3	$2,0 \cdot 10^{-2} (*)$	$1,4 \cdot 10^{-1}$	37
	CsClO_4	$4,0 \cdot 10^{-3} (*)$	$6,3 \cdot 10^{-2}$	15
	CsIO_3	$1,0 \cdot 10^{-2} (*)$	$1,0 \cdot 10^{-1}$	31
	CsIO_4	$4,4 \cdot 10^{-3} (*)$	$6,6 \cdot 10^{-2}$	21
	CsMnO_4	$9,1 \cdot 10^{-5} (*)$	$9,5 \cdot 10^{-3}$	2,4
	CsReO_4	$4,0 \cdot 10^{-4} (*)$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	77



Элемент	Вещество	ПР	s, моль/л	s, г/л
Cu	$\text{Cu}_3(\text{AsO}_4)_2$	$7,6 \cdot 10^{-36} (*)$	$3,7 \cdot 10^{-8}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$
	CuBr	$6,6 \cdot 10^{-9}$	$8,1 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$
	CuCN	$3,2 \cdot 10^{-20} (*)$	$1,8 \cdot 10^{-10}$	$1,6 \cdot 10^{-8}$
	CuCO_3	$2,4 \cdot 10^{-10}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$
	CuC_2O_4	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-2}$
	$\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2^{(4)}$	$7,8 \cdot 10^{-34}$	$1,4 \cdot 10^{-7}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$
	CuCl	$2,2 \cdot 10^{-7}$	$4,7 \cdot 10^{-4}$	$4,7 \cdot 10^{-2}$
	CuCrO_4	$3,2 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$3,2 \cdot 10^{-1}$
	CuI	$1,1 \cdot 10^{-12}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$
	$\text{Cu}(\text{IO}_3)_2$	$1,4 \cdot 10^{-7}$	$3,3 \cdot 10^{-3}$	1,4
	CuMoO_4	$1,6 \cdot 10^{-9}$	$4,0 \cdot 10^{-5}$	$8,9 \cdot 10^{-3}$
	CuN_3	$5,0 \cdot 10^{-9} (*)$	$7,1 \cdot 10^{-5}$	$7,5 \cdot 10^{-3}$
	$\text{Cu}(\text{N}_3)_2$	$6,4 \cdot 10^{-10} (*)$	$5,4 \cdot 10^{-4}$	$8,0 \cdot 10^{-2}$
	$\text{Cu}(\text{OH})_2$	$5,6 \cdot 10^{-20}$	$2,4 \cdot 10^{-7}$	$2,4 \cdot 10^{-5}$
	$\text{Cu}_3(\text{PO}_4)_2$	$1,4 \cdot 10^{-37}$	$1,7 \cdot 10^{-8}$	$6,4 \cdot 10^{-6}$
	CuS	$1,4 \cdot 10^{-36}$	$1,2 \cdot 10^{-18}$	$1,1 \cdot 10^{-16}$
	Cu_2S	$2,3 \cdot 10^{-48}$	$8,3 \cdot 10^{-17}$	$1,3 \cdot 10^{-14}$
	CuSCN	$4,8 \cdot 10^{-15} (*)$	$6,9 \cdot 10^{-8}$	$8,4 \cdot 10^{-6}$
	CuSe	$4,5 \cdot 10^{-42}$	$2,1 \cdot 10^{-21}$	$3,0 \cdot 10^{-19}$
	Cu_2Se	$1,1 \cdot 10^{-51}$	$6,5 \cdot 10^{-18}$	$1,3 \cdot 10^{-15}$
	CuSeO_3	$1,7 \cdot 10^{-8} (*)$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$
	CuWO_4	$1,0 \cdot 10^{-5} (*)$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$9,8 \cdot 10^{-1}$
Dy	DyAsO_4	$1,5 \cdot 10^{-24}$	$1,2 \cdot 10^{-12}$	$3,7 \cdot 10^{-10}$
	DyF_3	$5,0 \cdot 10^{-16}$	$6,6 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$
Er	ErF_3	$1,6 \cdot 10^{-15}$	$8,8 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$
Eu	EuF_3	$3,2 \cdot 10^{-16}$	$5,9 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$
	$\text{Eu}(\text{OH})_3$	$2,8 \cdot 10^{-27}$	$1,0 \cdot 10^{-7}$	$2,1 \cdot 10^{-5}$
Fe	FeAsO_4	$5,8 \cdot 10^{-21} (*)$	$7,6 \cdot 10^{-11}$	$1,5 \cdot 10^{-8}$
	$\text{Ag}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	$1,0 \cdot 10^{-22} (*)$	$1,4 \cdot 10^{-6}$	$7,4 \cdot 10^{-4}$



Элемент	Вещество	ПР	s, моль/л	s, г/л
	$\text{Ag}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	$8,5 \cdot 10^{-45} (*)$	$5,1 \cdot 10^{-10}$	$3,3 \cdot 10^{-7}$
	$\text{Ba}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	$3,0 \cdot 10^{-8} (*)$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$9,5 \cdot 10^{-1}$
	FeCO_3	$2,9 \cdot 10^{-11}$	$5,4 \cdot 10^{-6}$	$6,2 \cdot 10^{-4}$
	FeC_2O_4	$2,1 \cdot 10^{-7}$	$4,6 \cdot 10^{-4}$	$6,6 \cdot 10^{-2}$
	FeF_2	$2,4 \cdot 10^{-6}$	$8,4 \cdot 10^{-3}$	79
	$\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3^{(5)}$	$3,0 \cdot 10^{-41}$	$4,6 \cdot 10^{-7}$	$3,4 \cdot 10^{-4}$
	FeMoO_4	$2,0 \cdot 10^{-8}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$3,1 \cdot 10^{-2}$
	$\text{Fe}(\text{OH})_2$	$7,9 \cdot 10^{-16}$	$5,8 \cdot 10^{-6}$	$5,2 \cdot 10^{-4}$
	$\text{Fe}(\text{OH})_{3(\text{аморф})}$	$6,3 \cdot 10^{-38}$	$3,9 \cdot 10^{-10}$	$4,2 \cdot 10^{-8}$
	$\text{Fe}(\text{OH})_{3(\text{состар})}$	$3,2 \cdot 10^{-40}$	$5,9 \cdot 10^{-11}$	$6,3 \cdot 10^{-9}$
	FePO_4	$1,1 \cdot 10^{-26}$	$1,0 \cdot 10^{-13}$	$1,6 \cdot 10^{-11}$
	FeS	$3,4 \cdot 10^{-17}$	$5,8 \cdot 10^{-9}$	$5,1 \cdot 10^{-7}$
	$\text{Fe}(\text{S}_2)$	$5,4 \cdot 10^{-27}$	$7,3 \cdot 10^{-14}$	$8,8 \cdot 10^{-12}$
	FeSe	$1,8 \cdot 10^{-20}$	$1,3 \cdot 10^{-10}$	$1,8 \cdot 10^{-8}$
	Fe_2SiO_4	$3,7 \cdot 10^{-30} (*)$	$9,7 \cdot 10^{-11}$	$2,0 \cdot 10^{-8}$
	FeWO_4	$6,1 \cdot 10^{-12}$	$2,5 \cdot 10^{-6}$	$7,5 \cdot 10^{-4}$
Ga	$\text{Ga}(\text{OH})_3$	$7,28 \cdot 10^{-36}$	$7,2 \cdot 10^{-10}$	$8,7 \cdot 10^{-8}$
	GaPO_4	$3,8 \cdot 10^{-21}$	$6,2 \cdot 10^{-11}$	$1,0 \cdot 10^{-8}$
Gd	GdF_3	$6,3 \cdot 10^{-18}$	$2,2 \cdot 10^{-5}$	$4,7 \cdot 10^{-3}$
Ge	$\text{K}_2[\text{GeF}_6]$	$3,0 \cdot 10^{-5} (*)$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	5,2
	GeS	$3,0 \cdot 10^{-35} (*)$	$5,5 \cdot 10^{-18}$	$6,7 \cdot 10^{-16}$
Hf	HfF_4	$3,0 \cdot 10^{-25}$	$4,1 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$
	$\text{K}_2[\text{HfF}_6]$	$2,0 \cdot 10^{-3} (*)$	$7,9 \cdot 10^{-2}$	29
Hg	HgBr_2	$6,2 \cdot 10^{-20}$	$2,5 \cdot 10^{-7}$	$9,0 \cdot 10^{-5}$
	Hg_2Br_2	$7,9 \cdot 10^{-23}$	$2,7 \cdot 10^{-8}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$
	$\text{Hg}_2(\text{CH}_3\text{COO})_2$	$2,0 \cdot 10^{-15}$	$7,9 \cdot 10^{-6}$	$4,1 \cdot 10^{-3}$
	$\text{Hg}_2(\text{CN})_2$	$5,0 \cdot 10^{-40}$	$5,0 \cdot 10^{-14}$	$2,3 \cdot 10^{-11}$
	Hg_2CO_3	$8,9 \cdot 10^{-17}$	$9,4 \cdot 10^{-9}$	$4,4 \cdot 10^{-6}$
	$\text{Hg}_2\text{C}_2\text{O}_4$	$2,0 \cdot 10^{-13}$	$4,5 \cdot 10^{-7}$	$2,2 \cdot 10^{-4}$



Элемент	Вещество	ПР	s, моль/л	s, г/л
	Hg_2Cl_2	$1,5 \cdot 10^{-18}$	$7,2 \cdot 10^{-7}$	$3,4 \cdot 10^{-4}$
	Hg_2CrO_4	$1,6 \cdot 10^{-9}$	$4,0 \cdot 10^{-5}$	$2,1 \cdot 10^{-2}$
	Hg_2F_2	$3,1 \cdot 10^{-6}$	$9,2 \cdot 10^{-3}$	4,0
	Hg_2HPO_4	$4,0 \cdot 10^{-13} (*)$	$6,3 \cdot 10^{-7}$	$3,1 \cdot 10^{-4}$
	HgI_2	$2,9 \cdot 10^{-29}$	$1,9 \cdot 10^{-10}$	$8,8 \cdot 10^{-8}$
	Hg_2I_2	$5,4 \cdot 10^{-29}$	$2,4 \cdot 10^{-10}$	$1,6 \cdot 10^{-7}$
	$\text{Hg}_2(\text{IO}_3)_2$	$2,5 \cdot 10^{-14} (*)$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$
	$\text{HgS}_{\text{(красный)}}$	$4,0 \cdot 10^{-53}$	$6,3 \cdot 10^{-27}$	$1,5 \cdot 10^{-24}$
	$\text{HgS}_{\text{(черный)}}$	$1,6 \cdot 10^{-52}$	$1,3 \cdot 10^{-26}$	$2,9 \cdot 10^{-24}$
	$\text{Hg}_2(\text{SCN})_2$	$3,2 \cdot 10^{-20}$	$2,0 \cdot 10^{-7}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$
	$\text{Co}[\text{Hg}(\text{SCN})_4]$	$1,5 \cdot 10^{-6} (*)$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$6,0 \cdot 10^{-1}$
	$\text{Zn}[\text{Hg}(\text{SCN})_4]$	$2,2 \cdot 10^{-7} (*)$	$4,7 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-1}$
	Hg_2SO_3	$1,0 \cdot 10^{-27} (*)$	$3,2 \cdot 10^{-14}$	$1,5 \cdot 10^{-11}$
	Hg_2SO_4	$6,2 \cdot 10^{-7}$	$7,9 \cdot 10^{-4}$	$3,9 \cdot 10^{-1}$
	HgSe	$2,4 \cdot 10^{-61}$	$4,9 \cdot 10^{-31}$	$1,4 \cdot 10^{-28}$
	Hg_2SeO_3	$6,3 \cdot 10^{-15} (*)$	$7,9 \cdot 10^{-8}$	$4,2 \cdot 10^{-5}$
	Hg_2WO_4	$1,1 \cdot 10^{-17} (*)$	$3,3 \cdot 10^{-9}$	$2,2 \cdot 10^{-6}$
Ho	HoF_3	$6,3 \cdot 10^{-15}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{-2}$
In	$\text{In}(\text{OH})_3$	$1,3 \cdot 10^{-37}$	$2,6 \cdot 10^{-10}$	$4,4 \cdot 10^{-8}$
	In_2S_3	$9,1 \cdot 10^{-84}$	$9,7 \cdot 10^{-18}$	$3,1 \cdot 10^{-15}$
	In_2Se_3	$5,6 \cdot 10^{-92}$	$2,2 \cdot 10^{-19}$	$1,0 \cdot 10^{-16}$
Ir	$\text{K}_2[\text{IrCl}_6]$	$6,8 \cdot 10^{-5} (*)$	$2,6 \cdot 10^{-2}$	12
	$(\text{NH}_4)_2[\text{IrCl}_6]$	$3,0 \cdot 10^{-5} (*)$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	8,6
K	KClO_4	$1,0 \cdot 10^{-2} (*)$	$1,0 \cdot 10^{-1}$	14
	KIO_4	$8,3 \cdot 10^{-4} (*)$	$2,9 \cdot 10^{-2}$	6,6
	KReO_4	$1,9 \cdot 10^{-3} (*)$	$4,4 \cdot 10^{-2}$	13
La	LaAsO_4	$3,6 \cdot 10^{-22}$	$1,9 \cdot 10^{-11}$	$5,3 \cdot 10^{-9}$
	$\text{La}_2(\text{CO}_3)_3$	$4,0 \cdot 10^{-34} (*)$	$8,2 \cdot 10^{-8}$	$3,8 \cdot 10^{-5}$
	$\text{La}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3$	$2,0 \cdot 10^{-28} (*)$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$6,1 \cdot 10^{-4}$



Элемент	Вещество	ПР	s, моль/л	s, г/л
	LaF ₃	6,3·10 ⁻¹⁶	7,0·10 ⁻⁵	1,4·10 ⁻²
	La(IO ₃) ₃	6,2·10 ⁻¹²	6,9·10 ⁻⁴	4,6·10 ⁻¹
	La ₂ (MoO ₄) ₃	8,2·10 ⁻²²	2,4·10 ⁻⁵	1,8·10 ⁻²
	La(OH) ₃	3,6·10 ⁻²³	1,1·10 ⁻⁶	2,0·10 ⁻⁴
	La(OH) ₃ (аморфн)	6,5·10 ⁻²⁰ (*)	7,0·10 ⁻⁶	1,3·10 ⁻³
	LaPO ₄	6,9·10 ⁻²⁴	2,6·10 ⁻¹²	6,1·10 ⁻¹⁰
	La ₂ S ₃	5,3·10 ⁻²⁷	2,2·10 ⁻⁶	8,1·10 ⁻⁴
	La ₂ (SO ₄) ₃	3,0·10 ⁻⁵ (*)	4,9·10 ⁻²	28
Li	Li ₂ CO ₃	1,9·10 ⁻³	7,9·10 ⁻²	5,8
	LiF	1,5·10 ⁻³	3,8·10 ⁻²	9,9·10 ⁻¹
	Li ₃ PO ₄	3,2·10 ⁻⁹ (*)	3,3·10 ⁻³	3,8·10 ⁻¹
Lu	LuF ₃	4,0·10 ⁻¹⁵	1,1·10 ⁻⁴	2,6·10 ⁻²
	Lu(OH) ₃	1,0·10 ⁻²⁶	1,4·10 ⁻⁷	3,1·10 ⁻⁵
Mg	Mg ₃ (AsO ₄) ₂	2,1·10 ⁻²⁰ (*)	4,5·10 ⁻⁵	1,6·10 ⁻²
	MgCO ₃	7,9·10 ⁻⁶	2,8·10 ⁻³	2,4·10 ⁻¹
	MgC ₂ O ₄	8,6·10 ⁻⁵ (*)	9,3·10 ⁻³	1,0
	MgF ₂	6,4·10 ⁻⁹	1,2·10 ⁻³	7,3·10 ⁻²
	Mg(IO ₃) ₂	3,0·10 ⁻¹³ (*)	4,2·10 ⁻⁵	1,6·10 ⁻²
	MgNH ₄ PO ₄ ⁽⁶⁾	2,5·10 ⁻¹³	6,3·10 ⁻⁵	8,7·10 ⁻³
	Mg(OH) ₂	6,8·10 ⁻¹²	1,2·10 ⁻⁴	6,9·10 ⁻³
	Mg(OH) ₂ (аморфн)	6,0·10 ⁻¹⁰ (*)	5,3·10 ⁻⁴	3,1·10 ⁻²
	Mg ₃ (PO ₄) ₂	3,9·10 ⁻²⁶	3,2·10 ⁻⁶	8,5·10 ⁻⁴
	MgSO ₃	3,0·10 ⁻³ (*)	5,5·10 ⁻²	5,7
	MgSeO ₃	4,4·10 ⁻⁶ (*)	2,1·10 ⁻³	3,2·10 ⁻¹
	MgWO ₄	3,6·10 ⁻⁷	6,0·10 ⁻⁴	1,6·10 ⁻¹
Mn	Mn ₃ (AsO ₄) ₂	1,9·10 ⁻²⁹ (*)	7,1·10 ⁻⁷	3,1·10 ⁻⁴
	MnCO ₃	4,9·10 ⁻¹¹	7,0·10 ⁻⁶	8,0·10 ⁻⁴
	MnC ₂ O ₄	5,0·10 ⁻⁶ (*)	2,2·10 ⁻³	3,2·10 ⁻¹
	MnMoO ₄	1,2·10 ⁻⁴	1,1·10 ⁻²	24



Элемент	Вещество	ПР	s, моль/л	s, г/л
	Mn(OH)_2	$2,3 \cdot 10^{-13}$	$3,8 \cdot 10^{-5}$	$3,4 \cdot 10^{-3}$
	Mn(OH)_3	$1,0 \cdot 10^{-36}$	$4,4 \cdot 10^{-9}$	$4,6 \cdot 10^{-8}$
	Mn(OH)_4	$1,0 \cdot 10^{-56}$	$3,3 \cdot 10^{-15}$	$4,1 \cdot 10^{-13}$
	$\text{Mn}_3(\text{PO}_4)_2$	$1,7 \cdot 10^{-23}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$
	MnS	$1,1 \cdot 10^{-13}$	$3,3 \cdot 10^{-7}$	$2,9 \cdot 10^{-5}$
	$\text{MnS}_{(\text{аморфн})}$	$2,5 \cdot 10^{-10} (*)$	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$
	$\text{Mn(S}_2\text{)}$	$6,5 \cdot 10^{-15}$	$8,1 \cdot 10^{-8}$	$9,6 \cdot 10^{-6}$
	MnSO_3	$2,6 \cdot 10^{-7} (*)$	$5,1 \cdot 10^{-4}$	$6,9 \cdot 10^{-2}$
	MnSe	$5,4 \cdot 10^{-10}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$3,1 \cdot 10^{-3}$
	MnSeO_3	$5,4 \cdot 10^{-8} (*)$	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$4,2 \cdot 10^{-2}$
	Mn_2SiO_4	$2,0 \cdot 10^{-66}$	$7,9 \cdot 10^{-23}$	$1,6 \cdot 10^{-20}$
	MnTe	$4,3 \cdot 10^{-11}$	$6,6 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$
	MnWO_4	$3,2 \cdot 10^{-8}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$5,4 \cdot 10^{-2}$
Na	NaIO_4	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$5,5 \cdot 10^{-2}$	12
Nd	$\text{Nd}_2(\text{CO}_3)_3$	$1,1 \cdot 10^{-33}$	$1,0 \cdot 10^{-7}$	$4,7 \cdot 10^{-5}$
	$\text{Nd}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3$	$5,9 \cdot 10^{-29}$	$8,9 \cdot 10^{-7}$	$4,9 \cdot 10^{-4}$
	NdF_3	$1,3 \cdot 10^{-18}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$
	Nd(OH)_3	$5,0 \cdot 10^{-23}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$
	Nd_2S_3	$2,3 \cdot 10^{-17}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$7,1 \cdot 10^{-2}$
Ni	$\text{Ni}_3(\text{AsO}_4)_2$	$3,1 \cdot 10^{-26} (*)$	$3,1 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$
	Ni(CN)_2	$3,0 \cdot 10^{-23} (*)$	$2,0 \cdot 10^{-8}$	$2,2 \cdot 10^{-6}$
	NiCO_3	$1,3 \cdot 10^{-7}$	$3,6 \cdot 10^{-4}$	$4,3 \cdot 10^{-2}$
	NiC_2O_4	$4,0 \cdot 10^{-10} (*)$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$2,9 \cdot 10^{-3}$
	$\text{Ni(ClO}_3\text{)}_2$	$1,0 \cdot 10^{-4} (*)$	$2,9 \cdot 10^{-2}$	66
	$\text{Ni(IO}_3\text{)}_2$	$1,4 \cdot 10^{-8} (*)$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$6,2 \cdot 10^{-1}$
	$\text{Ni(OH)}_{2(\text{аморф})}$	$2,0 \cdot 10^{-15}$	$7,9 \cdot 10^{-6}$	$7,4 \cdot 10^{-4}$
	$\text{Ni(OH)}_{2(\text{состар})}$	$6,3 \cdot 10^{-18}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$
	$\text{Ni}_3(\text{PO}_4)_2$	$4,7 \cdot 10^{-32}$	$2,1 \cdot 10^{-7}$	$7,8 \cdot 10^{-5}$
	NiS	$9,3 \cdot 10^{-22}$	$3,1 \cdot 10^{-11}$	$2,8 \cdot 10^{-9}$



Элемент	Вещество	ПР	s, моль/л	s, г/л
	NiSeO ₃	$2,5 \cdot 10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$2,9 \cdot 10^{-1}$
	NiWO ₄	$7,9 \cdot 10^{-10}$	$2,8 \cdot 10^{-5}$	$8,6 \cdot 10^{-3}$
Pb	Pb ₃ (AsO ₄) ₂	$4,0 \cdot 10^{-36}$	$3,3 \cdot 10^{-8}$	$2,9 \cdot 10^{-5}$
	PbBr ₂	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-2}$	8,5
	Pb(BrO ₃) ₂	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$3,4 \cdot 10^{-2}$	16
	PbCO ₃	$3,6 \cdot 10^{-14}$	$1,9 \cdot 10^{-7}$	$5,1 \cdot 10^{-5}$
	PbC ₂ O ₄	$7,3 \cdot 10^{-11}$	$8,5 \cdot 10^{-6}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$
	Pb ₃ (CO ₃) ₂ (OH) ₂ ⁽⁷⁾	$1,5 \cdot 10^{-31}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$
	PbCl ₂	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	4,5
	PbClF ⁽⁸⁾	$2,5 \cdot 10^{-9}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$3,5 \cdot 10^{-1}$
	PbClOH ⁽⁸⁾	$2,0 \cdot 10^{-14} (*)$	$2,7 \cdot 10^{-5}$	$7,0 \cdot 10^{-3}$
	PbCrO ₄	$2,8 \cdot 10^{-13}$	$5,3 \cdot 10^{-7}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$
	PbF ₂	$2,7 \cdot 10^{-8}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$4,6 \cdot 10^{-1}$
	PbHPO ₄	$4,0 \cdot 10^{-12}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$6,1 \cdot 10^{-4}$
	PbI ₂	$8,7 \cdot 10^{-9}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$6,0 \cdot 10^{-1}$
	Pb(IO ₃) ₂	$2,6 \cdot 10^{-13}$	$4,0 \cdot 10^{-5}$	$2,2 \cdot 10^{-2}$
	PbMoO ₄	$8,5 \cdot 10^{-16}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$
	Pb(N ₃) ₂	$2,6 \cdot 10^{-9} (*)$	$8,7 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-1}$
	Pb(OH) ₂	$5,5 \cdot 10^{-16}$	$5,2 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$
	Pb ₃ (PO ₄) ₂	$7,9 \cdot 10^{-43} (*)$	$1,5 \cdot 10^{-9}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$
	PbS	$8,7 \cdot 10^{-29}$	$9,3 \cdot 10^{-15}$	$2,2 \cdot 10^{-12}$
	Pb(SCN) ₂	$2,0 \cdot 10^{-5} (*)$	$1,7 \cdot 10^{-2}$	5,5
	PbSO ₄	$1,7 \cdot 10^{-8}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-2}$
	PbS ₂ O ₃	$4,0 \cdot 10^{-7} (*)$	$6,3 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-1}$
	PbSe	$6,5 \cdot 10^{-37}$	$8,1 \cdot 10^{-19}$	$2,3 \cdot 10^{-16}$
	PbSeO ₃	$3,0 \cdot 10^{-12} (*)$	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$5,8 \cdot 10^{-4}$
	PbSeO ₄	$1,5 \cdot 10^{-7}$	$3,8 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-1}$
	PbTe	$4,1 \cdot 10^{-39}$	$6,4 \cdot 10^{-20}$	$2,2 \cdot 10^{-17}$
	PbWO ₄	$4,5 \cdot 10^{-12}$	$2,1 \cdot 10^{-6}$	$9,6 \cdot 10^{-4}$



Элемент	Вещество	ПР	s, моль/л	s, г/л
Pd	PdBr_2	$2,1 \cdot 10^{-11}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$4,6 \cdot 10^{-2}$
	$\text{K}_2[\text{PdCl}_4]$	$1,6 \cdot 10^{-5} (*)$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	5,2
	$\text{K}_2[\text{PdCl}_6]$	$6,0 \cdot 10^{-6} (*)$	$1,1 \cdot 10^{-2}$	4,5
	$\text{Pd}(\text{OH})_2$	$1,2 \cdot 10^{-29}$	$1,4 \cdot 10^{-10}$	$2,0 \cdot 10^{-8}$
	PdS	$7,5 \cdot 10^{-48}$	$2,7 \cdot 10^{-24}$	$3,8 \cdot 10^{-22}$
	$\text{Pd}(\text{SCN})_2$	$4,4 \cdot 10^{-23}$	$2,2 \cdot 10^{-8}$	$5,0 \cdot 10^{-6}$
Pr	PrF_3	$1,0 \cdot 10^{-17}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$4,9 \cdot 10^{-3}$
	$\text{Pr}(\text{OH})_3$	$1,6 \cdot 10^{-20}$	$4,9 \cdot 10^{-6}$	$9,5 \cdot 10^{-4}$
Pt	PtBr_4	$3,0 \cdot 10^{-41} (*)$	$2,6 \cdot 10^{-9}$	$1,3 \cdot 10^{-6}$
	$\text{Ba}[\text{Pt}(\text{CN})_4]$	$4,0 \cdot 10^{-3} (*)$	$6,3 \cdot 10^{-2}$	28
	$\text{Cs}_2[\text{PtCl}_6]$	$3,0 \cdot 10^{-8} (*)$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	1,3
	$\text{K}_2[\text{PtCl}_6]$	$1,1 \cdot 10^{-5} (*)$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	6,8
	$(\text{NH}_4)_2[\text{PtCl}_6]$	$9,0 \cdot 10^{-6} (*)$	$1,3 \cdot 10^{-2}$	5,8
	$\text{Rb}_2[\text{PtCl}_6]$	$9,0 \cdot 10^{-8} (*)$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	1,6
	$\text{Tl}_2[\text{PtCl}_6]$	$4,0 \cdot 10^{-12} (*)$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$8,2 \cdot 10^{-2}$
	$\text{Cs}_2[\text{PtF}_6]$	$2,4 \cdot 10^{-6} (*)$	$8,4 \cdot 10^{-3}$	48
	$\text{K}_2[\text{PtF}_6]$	$8,4 \cdot 10^{-13}$	$5,9 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-2}$
	$\text{Rb}_2[\text{PtF}_6]$	$7,6 \cdot 10^{-7} (*)$	$5,7 \cdot 10^{-3}$	28
	$\text{Pt}(\text{OH})_2$	$1,0 \cdot 10^{-25}$	$2,9 \cdot 10^{-9}$	$6,7 \cdot 10^{-7}$
	PtS	$1,2 \cdot 10^{-61}$	$3,5 \cdot 10^{-31}$	$8,0 \cdot 10^{-29}$
Rb	RbBrO_3	$2,0 \cdot 10^{-2} (*)$	$1,4 \cdot 10^{-1}$	30
	RbClO_4	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-2}$	9,3
	RbIO_4	$5,5 \cdot 10^{-4} (*)$	$2,3 \cdot 10^{-2}$	6,5
	RbMnO_4	$2,9 \cdot 10^{-3} (*)$	$5,4 \cdot 10^{-2}$	11
	RbReO_4	$9,6 \cdot 10^{-4} (*)$	$3,1 \cdot 10^{-2}$	10
Rh	$\text{Rh}(\text{OH})_3$	$2,0 \cdot 10^{-48} (*)$	$5,2 \cdot 10^{-13}$	$8,0 \cdot 10^{-11}$
Ru	$\text{Ru}(\text{OH})_3$	$1,0 \cdot 10^{-38} (*)$	$1,4 \cdot 10^{-10}$	$2,1 \cdot 10^{-8}$
Sb	$\text{Na}[\text{Sb}(\text{OH})_6]$	$4,0 \cdot 10^{-8} (*)$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$4,9 \cdot 10^{-2}$
	Sb_2S_3	$2,2 \cdot 10^{-90}$	$4,6 \cdot 10^{-19}$	$1,6 \cdot 10^{-16}$



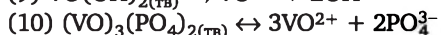
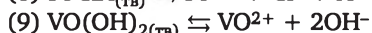
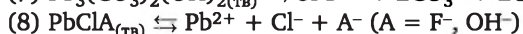
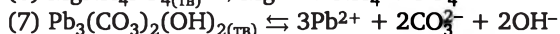
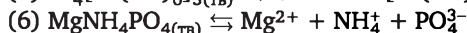
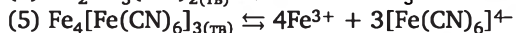
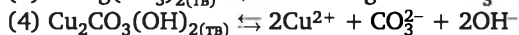
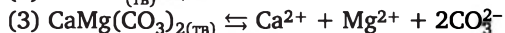
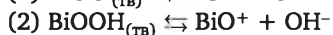
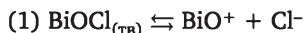
Элемент	Вещество	ПР	s, моль/л	s, г/л
Sc	ScAsO ₄	$1,9 \cdot 10^{-27}$	$4,4 \cdot 10^{-14}$	$8,0 \cdot 10^{-12}$
	ScF ₃	$5,8 \cdot 10^{-24}$	$6,8 \cdot 10^{-7}$	$6,9 \cdot 10^{-5}$
	Sc(OH) ₃	$8,7 \cdot 10^{-28}$	$7,5 \cdot 10^{-8}$	$7,2 \cdot 10^{-6}$
Si	Ca[SiF ₆]	$8,1 \cdot 10^{-4} (*)$	$2,8 \cdot 10^{-2}$	5,2
	Cs ₂ [SiF ₆]	$1,3 \cdot 10^{-5} (*)$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	6,0
	K ₂ [SiF ₆]	$2,2 \cdot 10^{-7}$	$3,8 \cdot 10^{-3}$	$8,4 \cdot 10^{-1}$
	Na ₂ [SiF ₆]	$3,1 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	3,7
	Rb ₂ [SiF ₆]	$5,0 \cdot 10^{-7} (*)$	$5,0 \cdot 10^{-3}$	1,6
Sm	SmF ₃	$1,0 \cdot 10^{-16}$	$4,4 \cdot 10^{-5}$	$9,1 \cdot 10^{-3}$
Sn	Cs ₂ [SnCl ₆]	$3,6 \cdot 10^{-8} (*)$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	1,2
	SnI ₂	$8,3 \cdot 10^{-6} (*)$	$1,3 \cdot 10^{-2}$	4,8
	Sn(OH) ₂	$6,3 \cdot 10^{-27}$	$1,2 \cdot 10^{-9}$	$1,8 \cdot 10^{-7}$
	Ca[Sn(OH) ₆]	$2,0 \cdot 10^{-20}$	$1,4 \cdot 10^{-10}$	$3,7 \cdot 10^{-8}$
	SnS	$3,0 \cdot 10^{-28}$	$1,7 \cdot 10^{-14}$	$2,6 \cdot 10^{-12}$
	SnS ₂	$2,3 \cdot 10^{-58}$	$3,9 \cdot 10^{-20}$	$7,1 \cdot 10^{-18}$
	SnSe	$1,2 \cdot 10^{-34}$	$1,4 \cdot 10^{-17}$	$2,7 \cdot 10^{-15}$
	SnTe	$3,6 \cdot 10^{-37}$	$6,0 \cdot 10^{-19}$	$1,5 \cdot 10^{-16}$
Sr	Sr ₃ (AsO ₄) ₂	$1,3 \cdot 10^{-18} (*)$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$5,6 \cdot 10^{-2}$
	SrCO ₃	$5,3 \cdot 10^{-10}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$3,4 \cdot 10^{-3}$
	SrC ₂ O ₄	$5,6 \cdot 10^{-8} (*)$	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$4,2 \cdot 10^{-2}$
	SrCrO ₄	$2,7 \cdot 10^{-5}$	$5,2 \cdot 10^{-3}$	1,1
	SrF ₂	$2,5 \cdot 10^{-9}$	$8,6 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-1}$
	Sr(IO ₃) ₂	$3,3 \cdot 10^{-7} (*)$	$4,4 \cdot 10^{-3}$	1,9
	SrMoO ₄	$1,6 \cdot 10^{-7}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$9,9 \cdot 10^{-2}$
	Sr(OH) ₂	$3,2 \cdot 10^{-4} (*)$	$4,3 \cdot 10^{-2}$	5,2
	Sr ₃ (PO ₄) ₂	$1,0 \cdot 10^{-31} (*)$	$2,5 \cdot 10^{-7}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$
	Sr(PO ₃ F)	$3,0 \cdot 10^{-3} (*)$	$5,5 \cdot 10^{-2}$	10
	SrSO ₃	$6,7 \cdot 10^{-11} (*)$	$8,2 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$
	SrSO ₄	$2,1 \cdot 10^{-7}$	$4,6 \cdot 10^{-4}$	$8,5 \cdot 10^{-2}$



Элемент	Вещество	ПР	s, моль/л	s, г/л
	SrSeO ₃	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^{-1}$
	SrSeO ₄	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$	1,2
	SrWO ₄	$7,1 \cdot 10^{-9}$	$8,4 \cdot 10^{-5}$	$2,8 \cdot 10^{-2}$
Tb	TbF ₃	$7,9 \cdot 10^{-17}$	$4,1 \cdot 10^{-5}$	$8,9 \cdot 10^{-3}$
Ti	K ₂ [TiF ₆]	$5,0 \cdot 10^{-4} (*)$	$5,0 \cdot 10^{-2}$	12
	Rb ₂ [TiF ₆]	$5,5 \cdot 10^{-5} (*)$	$2,4 \cdot 10^{-2}$	8,0
Tl	TlBrO ₃	$3,9 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	6,6
	TlBr	$4,3 \cdot 10^{-6}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$5,9 \cdot 10^{-1}$
	Tl ₂ CO ₃	$4,0 \cdot 10^{-3} (*)$	$1,0 \cdot 10^{-1}$	47
	Tl ₂ C ₂ O ₄	$2,0 \cdot 10^{-4} (*)$	$3,7 \cdot 10^{-2}$	18
	TlCl	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	3,3
	Tl ₂ CrO ₄	$1,0 \cdot 10^{-12}$	$6,3 \cdot 10^{-5}$	$3,3 \cdot 10^{-2}$
	TlI	$6,6 \cdot 10^{-8}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$8,5 \cdot 10^{-2}$
	TlIO ₃	$4,5 \cdot 10^{-6}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$8,0 \cdot 10^{-1}$
	TlN ₃	$2,2 \cdot 10^{-4} (*)$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	3,7
	Tl(OH) ₃	$1,7 \cdot 10^{-44}$	$5,0 \cdot 10^{-12}$	$1,3 \cdot 10^{-9}$
	Tl ₃ PO ₄	$6,7 \cdot 10^{-8} (*)$	$7,1 \cdot 10^{-3}$	5,0
	TlReO ₄	$1,2 \cdot 10^{-5} (*)$	$3,5 \cdot 10^{-3}$	1,6
	Tl ₂ S	$3,0 \cdot 10^{-9}$	$9,1 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-1}$
	TlSCN	$5,8 \cdot 10^{-4} (*)$	$2,4 \cdot 10^{-2}$	6,3
	Tl ₂ SO ₃	$6,3 \cdot 10^{-4} (*)$	$5,4 \cdot 10^{-2}$	26
	Tl ₂ SO ₄	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$3,4 \cdot 10^{-2}$	17
	Tl ₂ S ₂ O ₃	$2,0 \cdot 10^{-7} (*)$	$3,7 \cdot 10^{-3}$	1,9
	Tl ₂ Se	$2,4 \cdot 10^{-22}$	$3,9 \cdot 10^{-8}$	$1,9 \cdot 10^{-5}$
	Tl ₂ SeO ₄	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-2}$	16
	Tl ₂ Te	$4,5 \cdot 10^{-41}$	$2,2 \cdot 10^{-14}$	$1,2 \cdot 10^{-11}$
Tm	TmF ₃	$7,9 \cdot 10^{-16}$	$4,4 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-2}$
V	VO(OH) ₂ ⁽⁹⁾	$1,9 \cdot 10^{-24}$	$7,8 \cdot 10^{-9}$	$7,9 \cdot 10^{-7}$
	(VO) ₃ (PO ₄) ₂ ⁽¹⁰⁾	$8,0 \cdot 10^{-25} (*)$	$5,9 \cdot 10^{-6}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$

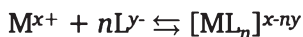


Элемент	Вещество	ПР	s, моль/л	s, г/л
Y	$Y_2(CO_3)_3$	$1,0 \cdot 10^{-31}$	$2,5 \cdot 10^{-7}$	$8,9 \cdot 10^{-5}$
	YF_3	$8,6 \cdot 10^{-21}$	$4,2 \cdot 10^{-6}$	$6,2 \cdot 10^{-4}$
	$Y(OH)_3$	$3,2 \cdot 10^{-25}$	$3,3 \cdot 10^{-7}$	$4,6 \cdot 10^{-5}$
Yb	$Yb_2(C_2O_4)_3$	$4,5 \cdot 10^{-25}$	$6,7 \cdot 10^{-13}$	$1,8 \cdot 10^{-10}$
	YbF_3	$5,0 \cdot 10^{-16}$	$6,6 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$
Zn	$Zn_3(AsO_4)_2$	$1,3 \cdot 10^{-27} (*)$	$1,6 \cdot 10^{-6}$	$7,8 \cdot 10^{-4}$
	$Zn(CN)_2$	$2,6 \cdot 10^{-13} (*)$	$4,0 \cdot 10^{-5}$	$4,7 \cdot 10^{-3}$
	$ZnCO_3$	$5,3 \cdot 10^{-11}$	$7,2 \cdot 10^{-6}$	$9,1 \cdot 10^{-4}$
	ZnC_2O_4	$1,4 \cdot 10^{-9}$	$3,7 \cdot 10^{-5}$	$5,7 \cdot 10^{-3}$
	ZnF_2	$3,0 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-1}$	20
	$Zn(IO_3)_2$	$2,0 \cdot 10^{-8} (*)$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$7,1 \cdot 10^{-1}$
	$ZnMoO_4$	$3,3 \cdot 10^{-5}$	$5,7 \cdot 10^{-3}$	1,3
	$Zn(OH)_{2(аморф)}$	$2,2 \cdot 10^{-14}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$
	$Zn(OH)_{2(состар)}$	$5,9 \cdot 10^{-15}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$
	$Zn_3(PO_4)_2$	$9,1 \cdot 10^{-3} (*)$	$1,5 \cdot 10^{-7}$	$5,9 \cdot 10^{-5}$
	$\alpha-ZnS$	$1,2 \cdot 10^{-25}$	$3,5 \cdot 10^{-13}$	$3,4 \cdot 10^{-11}$
	$\beta-ZnS$	$7,9 \cdot 10^{-24}$	$2,8 \cdot 10^{-12}$	$2,7 \cdot 10^{-10}$
	$ZnSe$	$4,7 \cdot 10^{-27}$	$6,9 \cdot 10^{-14}$	$9,9 \cdot 10^{-12}$
	$ZnSeO_3$	$1,9 \cdot 10^{-8} (*)$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{-2}$
	$ZnTe$	$7,0 \cdot 10^{-26}$	$2,6 \cdot 10^{-13}$	$5,1 \cdot 10^{-11}$
Zr	$K_2[ZrF_6]$	$5,0 \cdot 10^{-4} (*)$	$5,0 \cdot 10^{-2}$	14
	$Zr(OH)_4$	$7,9 \cdot 10^{-55}$	$5,0 \cdot 10^{-12}$	$7,9 \cdot 10^{-10}$



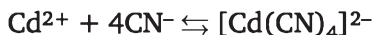
Константы устойчивости моноядерных комплексов

Образование моноядерного комплекса описывается уравнением:



где M^{x+} — ион металла-комплексобразователя, который также называют центральным атомом (Ц. А.); L^{y-} — ион или молекула лиганда. Если лигандом является нейтральная молекула, например, молекула аммиака NH_3 , то $y = 0$; n — число лигандов. Если лиганды монодентатны, т. е. один атом лиганда образует связь с одним центральным атомом, то n — координационное число (К. Ч.) Ц. А. Если лиганды бидентатны, т. е. два атома лиганда образуют две связи с одним центральным атомом, то $К.Ч. \text{ Ц.А.} = 2n$. Следовательно, К. Ч. — это число связей, образуемых Ц.А. с атомами лигандов.

Например, вам необходимо определить состав комплекса иона кадмия ($2+$) с цианид-ионом, если К. Ч. Ц. А. $n = 4$. Ионное уравнение образования комплекса записывается следующим образом:



Соответствующее молекулярное уравнение можно представить как:



Устойчивость комплексов характеризуется константами устойчивости. Существуют ступенчатые константы устойчивости K_i и общая константа устойчивости β_n , которые связаны уравнением:

$$\beta_n = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \dots \cdot K_n$$



В учебных целях наиболее часто используются общие константы устойчивости:

$$\beta_n = [ML_n]/([M] \cdot [L]^n)$$

Здесь заряды ионов металла, лиганда и комплекса для простоты опущены. Например, общая константа устойчивости цианидного комплекса кадмия выглядит следующим образом:

$$\beta_4 = [Cd(CN)_4^{2-}] / ([Cd^{2+}] \cdot [CN^-]^4)$$

Чем больше константа устойчивости, тем прочнее образующийся комплекс.

В табл. П4 приведены К.Ч. ионов-комплексобразователей, общие константы устойчивости комплексов β_n и их десятичные логарифмы $\lg \beta_n$. Таблица составлена по лигандам и ионам-комплексобразователям, расположенным в алфавитном порядке названий элементов (в соответствии с латинским алфавитом).

Таблица П4

Координационные числа ионов-комплексобразователей, общие константы устойчивости β_n и их десятичные логарифмы при $t = 25^\circ C$

M^{x+}	n	β_n	$\lg \beta_n$	M^{x+}	n	β_n	$\lg \beta_n$
Лиганд Br^-							
Ag^+	4	$5,37 \cdot 10^8$	8,73	Ni^{2+}	4	$7,59 \cdot 10^{-9}$	-8,12
	3	$1,00 \cdot 10^8$	8,00		2	$5,75 \cdot 10^{-4}$	-3,24
	2	$2,19 \cdot 10^7$	7,34	Pb^{2+}	4	$1,00 \cdot 10^3$	3,00
	1	$2,40 \cdot 10^4$	4,38		3	$2,00 \cdot 10^3$	3,30
Au^+	2	$2,88 \cdot 10^{12}$	12,46		2	$8,32 \cdot 10^1$	1,92
Au^{3+}	4	$3,16 \cdot 10^{31}$	31,50		1	$1,41 \cdot 10^1$	1,15
Bi^{3+}	6	$3,31 \cdot 10^9$	9,52	Pd^{2+}	4	$1,24 \cdot 10^{13}$	13,10
	5	$2,63 \cdot 10^9$	9,42	Pt^{2+}	4	$3,16 \cdot 10^{20}$	20,50
	4	$6,92 \cdot 10^7$	7,84		5	$9,55 \cdot 10^1$	1,98
	3	$2,14 \cdot 10^6$	6,33	Sn^{2+}	4	$4,57 \cdot 10^1$	1,66
	2	$2,82 \cdot 10^4$	4,45		3	$1,35 \cdot 10^2$	2,13
	1	$1,82 \cdot 10^2$	2,26		2	$5,37 \cdot 10^1$	1,73
Cd^{2+}	4	$5,01 \cdot 10^3$	3,70		1	7,94	0,90



M^{x+}	n	β_n	$\lg \beta_n$	M^{x+}	n	β_n	$\lg \beta_n$
Cd^{2+}	3	$2,09 \cdot 10^3$	3,32	Tl^+	4	0,63	-0,20
	2	$2,19 \cdot 10^2$	2,34		3	3,98	0,60
	1	$5,62 \cdot 10^1$	1,75		2	$1,02 \cdot 10^1$	1,01
Ce^{3+}	1	2,40	0,38		1	7,94	0,90
Co^{2+}	2	0,38	-0,42	Tl^{3+}	6	$1,58 \cdot 10^{26}$	26,20
	1	0,74	-0,13		5	$3,16 \cdot 10^{25}$	25,50
Cu^+	2	$8,32 \cdot 10^5$	5,92		4	$7,94 \cdot 10^{23}$	23,90
Cu^{2+}	2	$7,24 \cdot 10^5$	5,86		3	$1,58 \cdot 10^{21}$	21,20
	1	2,00	0,30		2	$3,98 \cdot 10^{16}$	16,60
Fe^{3+}	2	6,61	0,82		1	$5,01 \cdot 10^9$	9,70
	1	3,55	0,55	Zn^{2+}	4	$3,16 \cdot 10^{-3}$	-2,50
Hg^{2+}	4	$1,02 \cdot 10^{20}$	20,01		3	$1,26 \cdot 10^{-3}$	-2,90
	3	$5,62 \cdot 10^{18}$	18,75		2	$6,31 \cdot 10^{-3}$	-2,20
	2	$2,14 \cdot 10^{17}$	17,33		1	$1,58 \cdot 10^{-1}$	-0,80
	1	$1,12 \cdot 10^9$	9,05	—	—	—	—
In^{3+}	4	$5,62 \cdot 10^{-2}$	-1,25	—	—	—	—
	3	4,68	0,67	—	—	—	—
	2	$7,76 \cdot 10^1$	1,89	—	—	—	—
	1	$2,00 \cdot 10^1$	1,30	—	—	—	—
Лиганд CN^-							
Ag^+	4	$2,63 \cdot 10^{19}$	19,42	Fe^{2+}	6	$7,94 \cdot 10^{36}$	36,90
	3	$3,55 \cdot 10^{20}$	20,55		5	$3,98 \cdot 10^{18}$	18,60
	2	$7,08 \cdot 10^{19}$	19,85	Fe^{3+}	6	$7,94 \cdot 10^{43}$	43,90
Au^+	2	$2,00 \cdot 10^{38}$	38,30	Hg^{2+}	4	$9,33 \cdot 10^{38}$	38,97
Au^{3+}	4	$1,00 \cdot 10^{56}$	56,00		3	$2,04 \cdot 10^{36}$	36,31
Cd^{2+}	4	$1,29 \cdot 10^{17}$	17,11		2	$5,62 \cdot 10^{32}$	32,75
	3	$8,32 \cdot 10^{13}$	13,92		1	$1,00 \cdot 10^{17}$	17,00
	2	$3,98 \cdot 10^9$	9,60	Ni^{2+}	4	$1,00 \cdot 10^{31}$	31,00
	1	$1,51 \cdot 10^5$	5,18	Tl^{3+}	4	$1,00 \cdot 10^{35}$	35,00



M^{x+}	n	β_n	$\lg \beta_n$	M^{x+}	n	β_n	$\lg \beta_n$
Co^{2+}	6	$1,23 \cdot 10^{19}$	19,09	Zn^{2+}	4	$4,17 \cdot 10^{19}$	19,62
Co^{3+}	6	$1,00 \cdot 10^{64}$	64,00		3	$1,12 \cdot 10^{16}$	16,05
Cu^{+}	4	$2,00 \cdot 10^{30}$	30,30		2	$1,17 \cdot 10^{11}$	11,07
	3	$3,98 \cdot 10^{28}$	28,59	—	—	—	—
	2	$1,00 \cdot 10^{24}$	24,00	—	—	—	—
Лиганд Cl^{-}							
Ag^{+}	4	$8,32 \cdot 10^5$	5,92	In^{3+}	3	$1,70 \cdot 10^3$	3,23
	3	$2,51 \cdot 10^5$	5,40		2	$4,36 \cdot 10^2$	2,64
	2	$1,78 \cdot 10^5$	5,25		1	$5,25 \cdot 10^1$	1,72
	1	$2,04 \cdot 10^3$	3,31	Ir^{3+}	6	$1,00 \cdot 10^{14}$	14,00
Am^{3+}	1	$1,48 \cdot 10^1$	1,17	La^{3+}	1	0,71	-0,15
Au^{3+}	4	$2,00 \cdot 10^{21}$	21,30	Mn^{3+}	1	8,91	0,95
Bi^{3+}	6	$1,38 \cdot 10^8$	8,14	Mo^{6+}	3	$2,04 \cdot 10^{-3}$	-2,69
	5	$1,29 \cdot 10^6$	6,11		2	0,16	-0,80
	4	$9,55 \cdot 10^4$	4,98		1	0,50	-0,30
	3	$2,63 \cdot 10^3$	3,42	Pb^{2+}	3	$7,08 \cdot 10^1$	1,85
	2	$1,26 \cdot 10^3$	3,10		2	$2,75 \cdot 10^2$	2,44
	1	$2,69 \cdot 10^2$	2,43		1	$4,17 \cdot 10^1$	1,62
Cd^{2+}	6	$3,80 \cdot 10^2$	2,58	Pd^{2+}	4	$1,26 \cdot 10^{15}$	15,10
	4	$7,94 \cdot 10^2$	2,90		3	$1,26 \cdot 10^{13}$	13,10
	3	$1,29 \cdot 10^2$	2,11		2	$3,98 \cdot 10^{10}$	10,60
	2	$5,01 \cdot 10^2$	2,70		1	$1,00 \cdot 10^6$	6,00
	1	$1,00 \cdot 10^2$	2,00	Pt^{2+}	4	$1,00 \cdot 10^{16}$	16,00
Ce^{3+}	1	1,66	0,22		3	$3,02 \cdot 10^{14}$	14,48
Co^{2+}	1	1,38	0,14	Sn^{2+}	3	$2,82 \cdot 10^2$	2,45
Cr^{3+}	2	0,78	-0,11		2	$1,74 \cdot 10^2$	2,24
	1	3,98	0,60		1	$3,24 \cdot 10^1$	1,51
Cu^{+}	2	$2,63 \cdot 10^5$	5,42	Sn^{4+}	1	6,61	0,82
	1	$1,26 \cdot 10^3$	3,10	Tl^{+}	3	0,16	-0,80



M^{x+}	n	β_n	$\lg \beta_n$	M^{x+}	n	β_n	$\lg \beta_n$
Cu^{2+}	3	$7,94 \cdot 10^{-3}$	-2,10	Tl^+	2	1,78	0,25
	2	0,30	-0,52		1	4,79	0,68
	1	8,91	0,95	Tl^{3+}	5	$2,95 \cdot 10^{17}$	17,47
Fe^{2+}	2	2,51	0,40		4	$1,00 \cdot 10^{17}$	17,00
	1	2,29	0,36		3	$5,62 \cdot 10^{14}$	14,75
Fe^{3+}	4	0,14	-0,85		2	$1,00 \cdot 10^{12}$	12,00
	3	6,03	0,78		1	$3,16 \cdot 10^7$	7,50
	2	$6,03 \cdot 10^1$	1,78	Y^{3+}	1	$1,82 \cdot 10^1$	1,26
	1	$3,02 \cdot 10^1$	1,48	Zn^{2+}	4	$3,02 \cdot 10^{-2}$	-1,52
Ga^{3+}	4	$1,58 \cdot 10^{-7}$	-6,80		3	$3,98 \cdot 10^{-2}$	-1,40
	3	$3,16 \cdot 10^{-5}$	-4,50		2	1,51	0,18
	2	$5,01 \cdot 10^{-3}$	-2,30		1	0,65	-0,19
	1	3,98	0,60	Zr^{4+}	4	$1,58 \cdot 10^1$	1,20
Hg^{2+}	4	$1,66 \cdot 10^{15}$	15,22		3	$3,16 \cdot 10^1$	1,50
	3	$9,77 \cdot 10^9$	13,99		2	$2,00 \cdot 10^1$	1,30
	2	$1,45 \cdot 10^{13}$	13,16		1	7,94	0,90
	1	$5,75 \cdot 10^6$	6,76		—	—	—
Лиганд F ⁻							
Ag^+	1	2,40	0,38	In^{3+}	3	$1,70 \cdot 10^{10}$	10,23
Al^{3+}	6	$6,76 \cdot 10^{20}$	20,83		2	$2,57 \cdot 10^7$	7,41
	5	$2,29 \cdot 10^{20}$	20,36		1	$4,27 \cdot 10^4$	4,63
	4	$1,07 \cdot 10^{19}$	19,03	La^{3+}	1	$3,63 \cdot 10^3$	3,56
	3	$4,47 \cdot 10^{16}$	16,65	Mg^{2+}	1	$6,61 \cdot 10^1$	1,82
	2	$3,98 \cdot 10^{12}$	12,60	Mn^{3+}	1	$5,75 \cdot 10^5$	5,76
	1	$9,55 \cdot 10^6$	6,98	Ni^{2+}	1	4,57	0,66
Be^{2+}	4	$9,33 \cdot 10^{14}$	14,97	Pb^{2+}	3	$2,63 \cdot 10^3$	3,42
	3	$5,13 \cdot 10^{12}$	12,71		2	$1,86 \cdot 10^2$	2,27
	2	$8,71 \cdot 10^9$	9,94		1	$1,82 \cdot 10^1$	1,26
	1	$1,00 \cdot 10^6$	6,00	Sc^{3+}	4	$1,51 \cdot 10^{20}$	20,18



M ^{x+}	n	β _n	lgβ _n	M ^{x+}	n	β _n	lgβ _n
Cd ²⁺	3	1,58·10 ¹	1,20	Sc ³⁺	3	2,14·10 ¹⁷	17,33
	2	3,39	0,53		2	7,59·10 ¹²	12,88
	1	2,00	0,30		1	1.20·10 ⁷	7,08
Ce ³⁺	1	9,77·10 ³	3,99	Sn ²⁺	3	1,00·10 ¹⁰	10,00
Cr ³⁺	3	1,05·10 ¹¹	11,02		1	7,08·10 ⁴	4,85
	2	3,47·10 ⁸	8,54	Sn ⁴⁺	6	1,00·10 ²⁵	25,00
	1	1,58·10 ⁵	5,20		Ti ⁴⁺	4	2,40·10 ²⁰
Fe ³⁺	4	5,50·10 ¹⁵	15,74	3		2,09·10 ¹⁶	16,32
	3	5,50·10 ¹³	13,74	2		5,50·10 ¹¹	11,74
	2	5,50·10 ¹⁰	10,74	1		4,47·10 ⁶	6,65
	1	1,10·10 ⁶	6,04	Tl ⁺	1	1,26	0,10
Ga ³⁺	3	3,09·10 ¹³	13,49	Y ³⁺	3	1,38·10 ¹²	12,14
	2	5,25·10 ¹⁰	10,72		2	3,47·10 ⁸	8,54
	1	1,55·10 ⁶	6,19		1	6,46·10 ⁴	4,81
Gd ³⁺	1	2,88·10 ³	3,46	Zn ²⁺	1	1,82·10 ¹	1,26
Ge ⁴⁺	6	3,72·10 ²⁵	25,57	Zr ⁴⁺	6	7,24·10 ³⁵	35,86
	5	6,92·10 ²¹	21,84		5	7,08·10 ³¹	31,85
H ⁺	2	5,89·10 ³	3,77		4	1,48·10 ²⁷	27,17
	1	1,51·10 ³	3,18		3	1,58·10 ²²	22,20
Hg ²⁺	1	3,63·10 ¹	1,56		2	2,24·10 ¹⁶	16,35
—	—	—	—		1	7,76·10 ⁸	8,89
Лиганд I ⁻							
Ag ⁺	4	1,26·10 ¹³	13,10	In ³⁺	3	3,02·10 ²	2,48
	3	4,79·10 ¹³	13,68		2	3,63·10 ²	2,56
	2	5,50·10 ¹¹	11,74		1	4,37·10 ¹	1,64
	1	3,80·10 ⁶	6,58	Pb ²⁺	4	8,32·10 ³	3,92
Bi ³⁺	6	1,26·10 ¹⁹	19,10		3	2,63·10 ³	3,42
	5	6,31·10 ¹⁶	16,80		2	6,31·10 ²	2,80
	4	8,91·10 ¹⁴	14,95		1	1,82·10 ¹	1,26



M ^{x+}	n	β _n	lgβ _n	M ^{x+}	n	β _n	lgβ _n	
Bi ³⁺	1	7.76·10 ²	2,89	Tl ⁺	4	3,98·10 ¹	1,60	
Cd ²⁺	6	1,00·10 ⁶	6,00		3	1,00·10 ²	2,00	
	4	2,57·10 ⁵	5,41		2	6,61·10 ²	1,82	
	3	1,00·10 ⁵	5,00		1	2,57·10 ¹	1,41	
	2	8,32·10 ³	3,92		Tl ³⁺	4	6,61·10 ³¹	31,82
	1	1,91·10 ²	2,28			3	3,98·10 ²⁷	27,60
Cu ⁺	2	5,75·10 ⁸	8,76			2	7,59·10 ²⁰	20,88
Hg ²⁺	4	6,76·10 ²⁹	29,83			1	2,57·10 ¹¹	11,41
	3	3,98·10 ²⁷	27,60	Zn ²⁺	4	0,31	−0,51	
	2	6,61·10 ²	2,82		3	1,82·10 ¹	1,26	
	1	7,41·10 ¹²	12,87		2	3,09·10 ^{−2}	−1,53	
—	—	—	1		3,39·10 ^{−1}	−0,47		
Лиганд NCS [−]								
Ag ⁺	4	4,68·10 ⁹	9,67	Fe ³⁺	6	1,70·10 ³	3,23	
	3	2,82·10 ⁹	9,45		5	1,70·10 ⁴	4,23	
	2	1,70·10 ⁸	8,23		4	3,39·10 ⁴	4,53	
	1	5,62·10 ⁴	4,75		3	4,27·10 ⁴	4,63	
Au ⁺	2	1,00·10 ²³	23,00		2	2,14·10 ⁴	4,33	
Au ³⁺	6	1,10·10 ⁴²	42,04		1	1,07·10 ³	3,03	
	4	1,00·10 ⁴²	42,00	Hg ²⁺	4	1,58·10 ²¹	21,20	
	2	1,00·10 ²³	23,00		3	2,51·10 ²⁰	20,40	
Bi ³⁺	6	1,70·10 ⁴	4,23		2	3,98·10 ¹⁷	17,60	
	4	2,57·10 ³	3,41	In ³⁺	3	4,27·10 ⁴	4,63	
	2	1,82·10 ²	2,26		2	1,00·10 ³	3,00	
	1	1,41·10 ¹	1,15		1	3,80·10 ²	2,58	
Cd ²⁺	6	0,83	−0,08	Mn ²⁺	1	1,66·10 ¹	1,22	
	4	8,13·10 ²	2,91	Ni ²⁺	3	6,46·10 ¹	1,81	
	3	2,00·10 ²	2,30		2	4,37·10 ¹	1,64	
	2	2,51·10 ²	2,40		1	1,51·10 ¹	1,18	



M^{x+}	n	β_n	$\lg \beta_n$	M^{x+}	n	β_n	$\lg \beta_n$
Cd^{2+}	1	$5,50 \cdot 10^1$	1,74	Pb^{2+}	4	7,08	0,85
Co^{2+}	4	$2,00 \cdot 10^2$	2,30		3	$7,94 \cdot 10^1$	1,90
	3	1	0		2	$3,31 \cdot 10^2$	2,52
	2	0,20	-0,7		1	$1,23 \cdot 10^1$	1,09
	1	0,91	-0,04	Ru^{3+}	1	$6,03 \cdot 10^1$	1,78
Cr^{3+}	6	$6,31 \cdot 10^3$	3,80	Ti^{4+}	1	$5,01 \cdot 10^1$	1,70
	5	$2,51 \cdot 10^5$	5,40	Tl^{+}	4	1	0
	4	$1,26 \cdot 10^6$	6,10		3	1,58	0,20
	3	$6,31 \cdot 10^5$	5,80		2	4,47	0,65
	2	$6,31 \cdot 10^4$	4,80		1	6,31	0,80
	1	$1,20 \cdot 10^3$	3,08	Zn^{2+}	4	$5,01 \cdot 10^3$	3,70
Cu^{+}	6	$1,86 \cdot 10^9$	9,27		3	$1,58 \cdot 10^2$	2,20
	5	$3,89 \cdot 10^9$	9,59		2	$1,26 \cdot 10^2$	2,10
	4	$1,12 \cdot 10^{10}$	10,05		1	$4,17 \cdot 10^1$	1,62
	3	$7,94 \cdot 10^9$	9,90	Zr^{4+}	6	$7,94 \cdot 10^7$	7,90
	2	$1,29 \cdot 10^{12}$	12,11		5	$7,94 \cdot 10^6$	6,90
					4	$6,31 \cdot 10^5$	5,80
Cu^{2+}	4	$3,31 \cdot 10^6$	6,52		3	$5,01 \cdot 10^4$	4,70
	3	$1,55 \cdot 10^5$	5,19		2	$2,51 \cdot 10^3$	3,40
	2	$4,47 \cdot 10^3$	3,65		1	$1,00 \cdot 10^2$	2,00
	1	$2,00 \cdot 10^2$	2,30				
Fe^{2+}	4	$3,39 \cdot 10^4$	4,53	—	—	—	—
	1	$2,14 \cdot 10^1$	1,33	—	—	—	—
Лиганд NH_3							
Ag^{+}	2	$1,62 \cdot 10^7$	7,21	Hg^{2+}	4	$2,95 \cdot 10^7$	7,47
	1	$2,34 \cdot 10^3$	3,37		3	$2,51 \cdot 10^6$	6,40
Au^{+}	2	$1,00 \cdot 10^{27}$	27,00		2	$6,31 \cdot 10^4$	4,80
Au^{3+}	4	$1,00 \cdot 10^{30}$	30,00		1	$4,79 \cdot 10^2$	2,68
Ca^{2+}	1	0,63	-0,20	Li^{+}	1	0,50	-0,30



M^{x+}	n	β_n	$\lg \beta_n$	M^{x+}	n	β_n	$\lg \beta_n$
Cd^{2+}	6	$1,38 \cdot 10^5$	5,14	Mg^{2+}	6	$5,13 \cdot 10^{-4}$	-3,29
	5	$6,31 \cdot 10^6$	6,80		5	$1,02 \cdot 10^{-2}$	-1,99
	4	$2,34 \cdot 10^7$	7,37		4	$9,12 \cdot 10^{-2}$	-1,04
	3	$2,34 \cdot 10^6$	6,37		3	$4,57 \cdot 10^{-1}$	-0,34
	2	$8,32 \cdot 10^4$	4,92		2	1,20	0,08
	1	$5,50 \cdot 10^2$	2,74		1	1,70	0,23
Co^{2+}	6	$2,45 \cdot 10^4$	4,39	Mn^{2+}	6	$1,00 \cdot 10^9$	9,00
	5	$1,35 \cdot 10^5$	5,13		2	$2,00 \cdot 10^1$	1,30
	4	$1,17 \cdot 10^5$	5,07		1	6,31	0,80
	3	$2,69 \cdot 10^4$	4,43	Ni^{2+}	6	$2,04 \cdot 10^8$	8,31
	2	$3,16 \cdot 10^3$	3,50		5	$7,76 \cdot 10^7$	7,89
	1	$9,77 \cdot 10^1$	1,99		4	$1,10 \cdot 10^7$	7,04
Co^{3+}	6	$1,62 \cdot 10^{35}$	35,21		3	$6,46 \cdot 10^5$	5,81
	5	$6,31 \cdot 10^{30}$	30,80		2	$1,82 \cdot 10^4$	4,26
	4	$5,01 \cdot 10^{25}$	25,70		1	$2,29 \cdot 10^2$	2,36
	3	$1,26 \cdot 10^{20}$	20,10	Pd^{2+}	4	$1,00 \cdot 10^{30}$	30,00
	2	$1,00 \cdot 10^{14}$	14,00	Pt^{2+}	4	$1,00 \cdot 10^{36}$	36,00
	1	$2,00 \cdot 10^7$	7,30	Tl^+	1	0,12	-0,92
Cu^+	2	$7,24 \cdot 10^{10}$	10,86	Tl^{3+}	4	$1,00 \cdot 10^{13}$	13,00
	1	$8,51 \cdot 10^5$	5,93		3	$3,98 \cdot 10^{11}$	11,60
Cu^{2+}	6	$7,94 \cdot 10^8$	8,90		2	$2,00 \cdot 10^9$	9,30
	5	$2,69 \cdot 10^{11}$	11,43		1	$3,98 \cdot 10^4$	4,60
	4	$7,94 \cdot 10^{12}$	12,90	Zn^{2+}	4	$4,17 \cdot 10^8$	8,62
	3	$5,25 \cdot 10^{10}$	10,72		3	$8,32 \cdot 10^6$	6,92
	2	$6,61 \cdot 10^7$	7,82		2	$8,13 \cdot 10^4$	4,91
	1	$1,86 \cdot 10^4$	4,27		1	$3,89 \cdot 10^2$	2,59
Fe^{2+}	2	$1,58 \cdot 10^2$	2,20	—	—	—	—
	1	$2,51 \cdot 10^1$	1,40	—	—	—	—



M^{x+}	n	β_n	$\lg \beta_n$	M^{x+}	n	β_n	$\lg \beta_n$
Лиганд OH^-							
Ag^+	3	$1,58 \cdot 10^5$	5,20	Ge^{4+}	3	$1,23 \cdot 10^{41}$	41,09
	2	$9,77 \cdot 10^3$	3,99		2	$4,07 \cdot 10^{27}$	27,61
	1	$1,00 \cdot 10^2$	2,00		1	$7,41 \cdot 10^{13}$	13,87
Al^{3+}	4	$3,16 \cdot 10^{32}$	32,50	Hg^{2+}	3	$1,58 \cdot 10^{21}$	21,20
	3	$1,00 \cdot 10^{26}$	26,00		2	$5,01 \cdot 10^{21}$	21,70
	2	$7,24 \cdot 10^{17}$	17,86		1	$2,00 \cdot 10^{10}$	10,30
	1	$9,55 \cdot 10^8$	8,98	Hg_2^{2+}	1	$1,00 \cdot 10^9$	9,00
Ba^{2+}	1	$1,66 \cdot 10^2$	2,22	In^{3+}	4	$7,59 \cdot 10^{33}$	33,88
Be^{2+}	4	$2,63 \cdot 10^{18}$	18,42		3	$1,10 \cdot 10^{29}$	29,04
	3	$4,27 \cdot 10^{18}$	18,63		2	$1,48 \cdot 10^{20}$	20,17
	1	$3,02 \cdot 10^7$	7,48		1	$2,57 \cdot 10^{10}$	10,41
Bi^{3+}	4	$1,58 \cdot 10^{35}$	35,20	La^{3+}	1	$2,00 \cdot 10^3$	3,30
	2	$6,31 \cdot 10^{15}$	15,80	Li^+	1	1,48	0,17
	1	$2,69 \cdot 10^{12}$	12,43	Lu^{3+}	1	$2,51 \cdot 10^7$	7,40
Ca^{2+}	1	$1,66 \cdot 10^1$	1,22	Mg^{2+}	1	$4,37 \cdot 10^2$	2,64
Cd^{2+}	4	$1,78 \cdot 10^9$	9,25	Mn^{3+}	3	$6,46 \cdot 10^7$	7,81
	3	$4,79 \cdot 10^9$	9,68		1	$2,57 \cdot 10^3$	3,41
	2	$2,88 \cdot 10^9$	9,46	Na^+	1	$3,31 \cdot 10^{-1}$	-0,48
	1	$2,34 \cdot 10^6$	6,37	Nd^{3+}	1	$3,16 \cdot 10^5$	5,50
Ce^{3+}	1	$3,98 \cdot 10^4$	4,60	Ni^{2+}	3	$9,12 \cdot 10^{12}$	12,96
Ce^{4+}	2	$1,15 \cdot 10^{27}$	27,06		2	$1,62 \cdot 10^{10}$	10,21
	1	$6,46 \cdot 10^{14}$	14,81		1	$1,20 \cdot 10^3$	3,08
Co^{2+}	3	$3,09 \cdot 10^{10}$	10,49	Pb^{2+}	3	$8,32 \cdot 10^{13}$	13,92
	2	$1,55 \cdot 10^9$	9,19		2	$6,76 \cdot 10^{10}$	10,83
	1	$2,51 \cdot 10^4$	4,40		1	$6,76 \cdot 10^7$	7,83
Cr^{3+}	6	$2,57 \cdot 10^{14}$	14,41	Pd^{2+}	2	$1,26 \cdot 10^{26}$	26,10
	5	$1,55 \cdot 10^{21}$	21,19		1	$4,79 \cdot 10^{12}$	12,68
	4	$9,33 \cdot 10^{27}$	27,97	Pt^{2+}	4	$4,68 \cdot 10^{22}$	22,67



M ^{x+}	n	β _n	lgβ _n	M ^{x+}	n	β _n	lgβ _n
Cr ³⁺	2	2,82·10 ¹⁸	18,45	Sb ³⁺	4	2,00·10 ³⁸	38,30
	1	1,05·10 ¹⁰	10,02		3	5,01·10 ³⁶	36,70
Cu ²⁺	4	7,76·10 ¹⁵	15,89		2	2,00·10 ²⁴	24,30
	3	1,00·10 ¹⁵	15,00		1	1,17·10 ⁶	6,07
	2	4,79·10 ¹³	13,68		Sc ³⁺	1	1,32·10 ⁹
	1	4,47·10 ⁶	6,65	Sn ²⁺	3	8,51·10 ¹¹	11,93
Fe ²⁺	4	3,98·10 ⁹	9,60		2	1,02·10 ⁹	9,01
	3	1,00·10 ¹⁰	10,00		1	2,82·10 ⁴	4,45
	2	1,48·10 ⁹	9,17	Sn ⁴⁺	6	1,00·10 ⁶³	63,00
	1	1,78·10 ⁷	7,25	Sr ²⁺	1	6,61	0,82
Fe ³⁺	4	3,09·10 ³⁴	34,49	Tl ⁺	1	6,61	0,82
	3	7,41·10 ³²	32,87	Tl ³⁺	2	2,34·10 ²⁵	25,37
	2	1,70·10 ²¹	21,23		1	7,24·10 ¹²	12,86
	1	6,76·10 ¹¹	11,83	Y ³⁺	1	8,32·10 ⁴	4,92
Ga ³⁺	6	2,00·10 ⁴⁰	40,30	Zn ²⁺	4	4,27·10 ¹⁶	16,63
	4	6,92·10 ³⁸	38,84		3	1,00·10 ¹⁵	15,00
	3	4,47·10 ³¹	31,65		2	7,94·10 ¹²	12,90
	2	4,79·10 ²¹	21,68		1	1,10·10 ⁵	5,04
	1	1,55·10 ¹¹	11,19	Zr ⁴⁺	4	3,24·10 ⁵⁴	54,51
Ge ⁴⁺	6	8,13·10 ⁶⁰	60,91		3	2,09·10 ⁴¹	41,32
	5	4,27·10 ⁵⁹	59,63		2	5,62·10 ²⁷	27,75
	4	2,34·10 ⁵⁴	54,37		1	1,10·10 ¹⁴	14,04
Лиганд S ₂ O ₃ ²⁻							
Ag ⁺	2	2,88·10 ¹³	13,46	K ⁺	1	8,32	0,92
	1	3,98·10 ⁸	8,60	La ³⁺	1	9,77·10 ²	2,99
Ba ²⁺	1	2,14·10 ²	2,33	Mg ²⁺	1	6,17·10 ¹	1,79
Ca ²⁺	1	9,55·10 ¹	1,98	Mn ²⁺	1	8,91·10 ¹	1,95
Cd ²⁺	2	2,88·10 ⁶	6,46	Na ⁺	1	1,20·10 ¹	1,08
	1	8,71·10 ³	3,94	Ni ²⁺	1	1,15·10 ²	2,06



M^{x+}	n	β_n	$\lg \beta_n$	M^{x+}	n	β_n	$\lg \beta_n$
Co^{2+}	1	$1,12 \cdot 10^2$	2,05	Pb^{2+}	4	$1,58 \cdot 10^7$	7,20
Cu^{+}	3	$5,13 \cdot 10^{13}$	13,71		3	$2,24 \cdot 10^6$	6,35
	2	$1,86 \cdot 10^{12}$	12,27		2	$1,35 \cdot 10^5$	5,13
Cu^{2+}	3	$6,92 \cdot 10^{13}$	13,84		1	$5,01 \cdot 10^2$	2,70
	2	$1,66 \cdot 10^{12}$	12,22	Sr^{2+}	1	$1,10 \cdot 10^2$	2,04
	1	$1,86 \cdot 10^{10}$	10,27	Tl^{+}	1	$8,13 \cdot 10^1$	1,91
Fe^{2+}	1	$1,47 \cdot 10^2$	2,17	Tl^{3+}	4	$1,00 \cdot 10^{41}$	41,00
Fe^{3+}	1	$1,78 \cdot 10^3$	3,25	Zn^{2+}	2	$3,89 \cdot 10^4$	4,59
Hg^{2+}	4	$4,07 \cdot 10^{33}$	33,61		1	$1,95 \cdot 10^2$	2,29
	3	$1,82 \cdot 10^{32}$	32,26	—	—	—	—
	2	$6,31 \cdot 10^{30}$	30,80	—	—	—	—
	1	$1,86 \cdot 10^{29}$	29,27	—	—	—	—



Термодинамические свойства неорганических веществ

В таблице представлены термодинамические константы индивидуальных веществ: стандартное значение изменения энтальпии образования ($\Delta_f H_{298}^0$), стандартное значение энтропии (S_{298}^0) и стандартное значение изменения энергии Гиббса образования ($\Delta_f G_{298}^0$) для известных агрегатных состояний. Для веществ и ионов в водных растворах в графе « S_{298}^0 » приведено значение стандартной парциальной энтропии. Если для твердых веществ известна конкретная кристаллическая решетка, то эти данные представлены в графе «Состояние». Если термодинамические константы неизвестны, то в соответствующей графе стоит прочерк.

Таблица П5

Термодинамические свойства неорганических веществ при $t = 25^\circ\text{C}$

Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^0$, кДж/моль	S_{298}^0 , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^0$, кДж/моль
Ag	Ag	куб.	0	+43	0
	Ag ⁺	раствор	+106	+73	+77
	Ag ^I Ag ^{III} O ₂	куб.	-115	+28	-37
	Ag ₃ AsO ₄	куб.	-634	+276	-545
	AgBr	куб.	-101	+107	-97
	AgBrO ₃	тетр.	-8	+152	+74
	Ag ₂ C ₂	тв.	+358	—	—
	AgCN	триг.	+146	+107	+157
	[Ag(CN) ₂] ⁻	раствор	+269	+201	+302
	K[Ag(CN) ₂]	гекс.	-13	+142	+38



Вещество	Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
Ag_2CO_3	монокл.	-506	+167	-437
AgCl	куб.	-127	+96	-110
$[\text{AgCl}_2]^-$	раствор	-245	+231	-215
AgClO_2	тетр.	+8	+136	+75
AgClO_3	тетр.	-22	+150	+71
AgClO_4	куб.	-32	+162	+88
Ag_2CrO_4	монокл.	-725	+218	-635
AgF	куб.	-206	+84	-188
$[\text{AgF}]$	раствор	-240	+26	-205
AgI	гекс.	-62	+115	-66
AgIO_3	ромб.	-169	+149	-92
Ag_2MoO_4	куб.	-838	+229	-750
AgN_3	ромб.	+309	+99	+378
Ag_3N	тв.	+255	—	—
$[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$	раствор	-111	+246	-18
AgNO_2	ромб.	-45	+128	+19
	раствор	—	+212	+40
AgNO_3	ромб.	-124	+141	-33
Ag_2O	куб.	-31	+121	-11
$[\text{AgOH}]$	раствор	—	—	-92
$[\text{Ag}(\text{OH})_2]^-$	раствор	—	—	-260
Ag_3PO_4	куб.	-990	+258	-894
Ag_2S	монокл.	-33	+144	-41
Ag_2SO_4	ромб.	-715	+200	-618
$[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)]^-$	раствор	—	—	-486
$[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$	раствор	-1279	+74	-1027



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
	Ag_2Se	ромб.	-44	+151	-51
	Ag_2Te	монокл.	-36	+155	-42
Al	Al	куб.	0	+28	0
	Al^{3+}	раствор	-531	-300	-492
	AlBr_3	монокл.	-514	+180	-491
	Al_4C_3	триг.	-208	+89	-196
	AlCl_3	монокл.	-704	+111	-629
	$\text{Na}[\text{AlCl}_4]$	ромб.	-1143	+188	-1042
	AlF	газ	-264	+215	-289
	AlF_3	триг.	-1510	+66	-1431
	$[\text{AlF}_3]$	раствор	-1524	+8	-1427
	$[\text{AlF}_4]^-$	раствор	-1858	+40	-1721
	$[\text{AlF}_5]^{2-}$	раствор	-2193	+47	-2008
	$[\text{AlF}_6]^{3-}$	раствор	-2533	+21	-2291
	$\text{Na}_3[\text{AlF}_6]$	монокл.	-3317	+238	-3153
	AlH_3	гекс.	-12	+30	+46
	$\text{K}[\text{AlH}_4]$	тв.	-167	+129	-100
	$\text{Li}[\text{AlH}_4]$	монокл.	-117	+88	-48
	$\text{Na}[\text{AlH}_4]$	тв.	-114	+124	-49
	AlN	гекс.	-318	+20	-287
	$\text{Al}(\text{NH}_4)(\text{SO}_4)_2$	гекс.	-2352	+216	-2038
	$\text{Al}(\text{NH}_4)(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	куб.	-5944	+697	-4938
	$\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	тв.	-2871	+468	-2204
	Al_2O_3	гекс.	-1675	+51	-1582
	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	аморфн.	-2009	+97	-1821
	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	аморфн.	-2552	+166	-2284



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
	AlOH^{2+}	раствор	-767	-157	-701
	Al(OH)_2^+	раствор	—	—	-907
	Al(OH)_3	монокл.	-1295	+70	-1157
	$[\text{Al(OH)}_3]$	раствор	—	—	-1111
	$[\text{Al(OH)}_4]^-$	раствор	-1490	+144	-1305
	AlO(OH)	ромб. (α)	-1000	+35	-921
	AlPO_4	гекс.	-1734	+91	-1618
	Al_2S_3	гекс.	-509	+96	-492
	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	гекс.	-3441	+239	-3100
	Al_2Se_3	гекс.	-567	—	—
	Al_2Te_3	тв.	-326	—	—
Ar	Ar	газ	0	+155	0
As	As (серый)	триг. (α)	0	+36	0
	As (желтый)	ромб.	+8	—	—
	As_2	газ	+194	+242	+143
	As_4	газ	+143	+330	-88
	AsBr_3	ромб.	-193	+159	-162
	AsCl_3	газ	-305	+221	-268
	AsF_3	газ	-921	+289	-908
	AsF_5	газ	-1238	+353	-1181
	AsH_3	газ	+66	+223	+69
	AsI_3	триг.	-80	+164	-66
	$[\text{H}_3\text{AsO}_3]$	раствор	-749	+195	-646
	H_2AsO_3^-	раствор	-721	+111	-593
	HAsO_3^{2-}	раствор	-689	-15	-524
	AsO_3^{3-}	раствор	-664	-187	-448



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
	$[\text{H}_3\text{AsO}_4]$	раствор	-907	+183	-770
	H_2AsO_4^-	раствор	-914	+117	-757
	HAsO_4^{2-}	раствор	-911	-5	-718
	AsO_4^{3-}	раствор	-892	-165	-652
	As_2O_3	куб. (β)	-666	+117	-588
	As_2O_5	ромб.	-925	+105	-782
	As_4O_6	газ	-1209	+381	-1098
	As_2S_3	монокл.	-96	+164	-95
	As_2S_5	аморфн.	-146	—	—
Au	Au	куб.	0	+48	0
	Au^+	раствор	+222	+128	+179
	AuBr	тв.	-14	+98	-6
	AuBr_3	тв.	-54	+155	-18
	$[\text{AuBr}_4]^-$	раствор	—	+314	-159
	$[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$	раствор	—	+123	+269
	AuCl	ромб.	-35	+108	-20
	$[\text{AuCl}_2]^-$	раствор	-174	+257	-151
	AuCl_3	монокл.	-118	+152	-49
	$[\text{AuCl}_4]^-$	раствор	-325	+258	-235
	$[\text{AuCl}_3(\text{OH})]^-$	раствор	—	—	-306
	AuF	тв.	-78	+87	-59
	AuF_3	тв.	-368	+113	-297
	AuI	тв.	+1	+111	-1
	Au_2O_3	куб.	-3	+134	+77
	$\text{Au}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	аморфн.	-957	+243	-700
	$[\text{Au}(\text{OH})_4]^-$	раствор	—	—	-487



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
В	В	гекс.	0	+6	0
	BBr ₃	жидк.	-239	+230	-238
	BCl ₃	жидк.	-427	+206	-387
	BF ₃	газ	-1137	+254	-1119
	[BF ₄] ⁻	раствор	-1574	+200	-1491
	K[BF ₄]	ромб.	-1886	+157	-1791
	Li[BF ₄]	тв.	—	+139	—
	Na[BF ₄]	ромб.	-1845	+120	-1743
	B ₂ H ₆	газ	+35	+232	+87
	B ₄ H ₁₀	газ	+68	—	—
	B ₁₀ H ₁₄	монокл.	-39	+176	+200
	K[BH ₄]	куб.	-227	+107	-160
	Li[BH ₄]	ромб.	-191	+76	-125
	Na[BH ₄]	куб.	-192	+101	-127
	B ₃ H ₆ N ₃	жидк.	-541	+200	-506
	BI ₃	тв.	-37	+200	-43
	BN	гекс. (α)	-251	+15	-226
	B ₂ O ₃	аморфн.	-1254	+78	-1182
	H ₃ BO ₃	трикл.	-1094	+89	-969
	HBO ₂	куб.	-804	+49	-736
	(HBO ₂) ₃	ромб.	-2368	+150	-2166
	[B(OH) ₄] ⁻	раствор	-1343	+105	-1153
Ba	Ba	куб. (α)	0	+61	0
	Ba ²⁺	раствор	-524	+9	-548
	BaBr ₂	ромб.	-751	+149	-732
	Ba(BrO ₃) ₂ ·H ₂ O	монокл.	-1003	+288	-772



Вещество	Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
BaC ₂	тетр.	–82	—	—
BaCO ₃	ромб.	–1201	+112	–1123
BaCl ₂	ромб.	–845	+124	–797
Ba(ClO ₃) ₂	тв.	–755	+234	–557
Ba(ClO ₄) ₂	гекс.	–789	+255	–536
BaCrO ₄	ромб.	–1429	+153	–1327
BaCr ₂ O ₇	тв.	–2086	+235	–1910
BaF ₂	куб.	–1192	+96	–1142
BaGeO ₃	тв.	–1226	—	—
Ba ₂ GeO ₄	тв.	–1840	—	—
BaH ₂	ромб.	–190	+63	–152
BaHPO ₄	ромб.	–1818	—	—
BaI ₂	ромб.	–610	+167	–607
Ba(IO ₃) ₂	монокл.	–1048	+249	–886
BaMoO ₄	тетр.	–1538	+149	–1433
Ba ₃ N ₂	тв.	–335	—	—
Ba(NO ₂) ₂	гекс.	–756	—	—
Ba(NO ₃) ₂	куб.	–979	+214	–784
BaO	куб.	–538	+70	–510
BaO ₂	тетр.	–644	+78	–588
BaOH ⁺	раствор	–749	+56	–717
Ba(OH) ₂	ромб.	–943	+100	–854
Ba ₃ P ₂	тв.	–803	+214	–788
Ba ₃ (PO ₄) ₂	триг.	–3960	+356	–3743
BaS	куб.	–442	+78	–437
BaSO ₃	куб.	–1030	+121	–947



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
	BaSO ₄	ромб.	-1458	+132	-1347
	BaSe	куб.	-364	+91	-360
	BaSeO ₃	тв.	-1026	+151	-949
	BaSeO ₄	ромб.	-1145	+133	-1032
	BaSiO ₃	ромб.	-1608	+110	-1525
	Ba ₂ SiO ₄	ромб.	-2258	+176	-2146
	BaTe	куб.	-314	+57	-298
	BaTiO ₃	тетр.	-1641	+108	-1554
	BaWO ₄	тетр.	-1634	+152	-1529
	BaZrO ₃	куб.	-2419	+125	-2335
Be	Be	гекс.	0	+10	0
	Be ²⁺	раствор	-404	-197	-381
	BeBr ₂	ромб.	-368	+121	-356
	Be ₂ C	куб.	-91	+16	-88
	Be(CH ₃ COO) ₂	тв.	-1302	—	—
	BeCO ₃	тв.	-1024	+67	-948
	BeCl ₂	ромб. (α)	-491	+83	-446
	BeF ₂	тетр.	-1035	+53	-987
	[BeF ₃] ⁻	раствор	—	—	-1294
	[BeF ₄] ²⁻	раствор	—	—	-1587
	BeH ₂	аморфн.	-19	+25	+16
	BeI ₂	ромб.	-212	+130	-213
	Be ₃ N ₂	куб.	-589	+50	-538
	Be(NO ₃) ₂	тв.	-700	—	—
	BeO	гекс.	-607	+14	-578
	Be(OH) ₂	аморфн.	-892	—	—
		ромб.	-905	+53	-818



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
	$[\text{Be}(\text{OH})_3]^-$	раствор	—	—	–959
	$[\text{Be}(\text{OH})_4]^{2-}$	раствор	—	—	–1115
	BeS	куб.	–235	34	–233
	BeSO_4	тетр.	–1205	+78	–1094
	BeSeO_3	тв.	–848	+201	–801
	BeSeO_4	тв.	–947	—	—
Bi	Bi	триг.	0	+57	0
	Bi^{3+}	раствор	81	–175	92
	BiBr_3	тв.	–259	—	—
	BiOBr	тв.	–342	—	—
	BiCl^{2+}	раствор	–70	+1	–59
	BiCl_2^+	раствор	—	—	–199
	BiCl_3	куб.	–378	+172	–313
	$[\text{BiCl}_3]$	раствор	—	—	–337
	$[\text{BiCl}_4]^-$	раствор	—	—	–479
	BiOCl	тетр.	–369	+103	–319
	BiF_3	куб.	–904	—	—
	BiI_3	триг.	–159	+234	–159
	$[\text{BiI}_4]^-$	раствор	—	—	–212
	$\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	трикл.	–2005	—	—
	Bi_2O_3	монокл.	–575	+151	–494
	$\text{Bi}(\text{OH})_3$	аморфн.	–715	+118	–583
	BiPO_4	монокл.	–1173	+123	–1058
	Bi_2S_3	ромб.	–156	+200	–153
	$\text{Bi}_2(\text{SO}_4)_3$	тв.	–2554	—	–2583
	Bi_2Se_3	триг.	–140	+217	–133



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
Br	Br ₂	газ	+31	+245	+3
		жидк.	0	+152	0
	[Br ₂]	раствор	-1	+136	+4
	HBr	газ	-36	+199	-53
	Br ⁻	раствор	-122	+83	-104
	[HBrO]	раствор	-113	+142	-82
	BrO ₃ ⁻	раствор	-65	+164	+20
C	C	графит	0	+5,7	0
	C	алмаз	+1,828	+2,36	+2,883
	CBr ₄	газ	+83	+358	+69
	CCl ₄	газ	-103	+310	-61
		жидк.	-135	+216	-65
	CF ₄	газ	-934	+217	-888
	HCOOH	жидк.	-425	+129	-362
	[HCOOH]	раствор	-426	+163	-373
	HCOO ⁻	раствор	-426	+91	-352
	CH ₃ COOH	жидк.	-484	+160	-389
	CH ₃ COO ⁻	раствор	-490	+88	-369
	C ₂ H ₅ OH	жидк.	-277	+161	-174
	HCN	жидк.	-110	+113	+126
	[HCN]	раствор	+107	+127	+119
	CN ⁻	раствор	+146	+118	+172
	(CN) ₂	газ	+309	+244	+297
	(CN)Br	газ	+186	+248	+165
	(CN)Cl	газ	+138	+236	+131
	(CN)F	газ	-12	+226	-19



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
	(CN)I	газ	+225	+257	+196
	HNCO	жидк.	-153	—	—
	[HNCO]	раствор	—	+134	-116
	NCO ⁻	раствор	-140	+107	-97
	NCS ⁻	раствор	+74	+146	+90
	CO	газ	-110	+198	-137
	CO(NH ₂) ₂	тетр.	-333	+105	-197
	CO ₂	газ	-393	+214	-394
	[CO ₂]	раствор	-414	+121	-386
	HCO ₃ ⁻	раствор	-691	+95	-587
	CO ₃ ²⁻	раствор	-677	-57	-528
	H ₂ C ₂ O ₄	монокл.	-831	+120	-702
	HC ₂ O ₄ ⁻	раствор	-818	+117	-688
	C ₂ O ₄ ²⁻	раствор	-808	+80	-668
	COCl ₂	газ	-220	+284	-267
	COF ₂	газ	-635	+258	-619
	COS	газ	-142	+231	-169
	CS ₂	жидк.	+89	+151	+64
		газ	+116	+238	+66
	CSCl ₂	газ	—	+299	—
Ca	Ca	куб. (α)	0	+42	0
	Ca ²⁺	раствор	-543	-55	-553
	Ca(AlO ₂) ₂	ромб.	-2326	+114	-2209
	Ca ₃ (AsO ₄) ₂ ·4H ₂ O	тв.	—	—	-4019
	Ca(BO ₂) ₂	ромб.	-2031	+105	-1924
	CaBr ₂	ромб.	-674	+134	-656



Вещество	Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
CaC ₂	тетр.	–62	+70	–67
CaCO ₃	триг.	–1207	+92	–1128
CaC ₂ O ₄ ·H ₂ O	монокл.	–1670	+156	–1509
CaCl ₂	ромб.	–794	+114	–749
Ca(ClO ₄) ₂	тв.	–725	—	—
Ca(CrO ₂) ₂	ромб.	–2049	+121	–1936
CaCrO ₄	тетр.	–1379	+134	–1277
CaCr ₂ O ₇	тв.	–2023	+224	–1849
CaF ₂	куб.	–1228	+69	–1176
Ca(FeO ₂) ₂	тетр.	–1521	+145	–1413
CaGeO ₃	тв.	–1295	—	—
Ca ₂ GeO ₄	тв.	–1999	—	—
CaH ₂	ромб.	–175	+42	–136
CaHPO ₄	трикл.	–1813	+111	–1680
Ca(H ₂ PO ₄) ₂	тв.	–3115	+190	–2812
CaI ₂	триг.	–538	+145	–534
Ca(IO ₃) ₂	монокл.	–1008	+230	–846
CaMg(CO ₃) ₂	гекс.	–2315	+155	–2152
CaMoO ₄	тетр.	–1546	+123	–1439
Ca(N ₃) ₂	ромб.	+14	—	—
Ca ₃ N ₂	гекс.	–432	+105	–369
Ca(NO ₃) ₂	куб.	–938	+193	–743
CaO	куб.	–635	+40	–604
CaO ₂	тетр.	–659	+43	–598
CaOH ⁺	раствор	–764	–15	–717
Ca(OH) ₂	триг.	–985	+83	–897



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^0$, кДж/моль	S_{298}^0 , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^0$, кДж/моль
	Ca_3P_2	тв.	–494	+145	–475
	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	тв.	–1755	—	—
	$\text{Ca}(\text{PO}_3)_2$	аморфн.	–1708	+147	–1532
	$\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$	тетр.	–3333	+189	–3126
	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	триг.	–4125	+236	–3889
	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$	гекс.	–6888	+388	–6507
	CaS	куб.	–482	+56	–477
	$\text{CaSO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	гекс.	–1753	+184	–1555
	CaSO_4	ромб.	–1434	+107	–1322
	CaSe	куб.	–364	+69	–360
	$\text{CaSeO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	тв.	–1609	+233	–1423
	$\text{CaSeO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	тв.	–1717	+185	–1486
	CaSiO_3	трикл.	–1635	+82	–1550
	CaTe	куб.	–293	+77	–289
	CaTiO_3	монокл.	–1662	+94	–1577
	$\text{Ca}(\text{VO}_3)_2$	тв.	–2329	+179	–2169
	CaWO_4	тетр.	–1641	+126	–1534
Cd	Cd	гекс.	0	+52	0
	Cd^{2+}	раствор	–76	–71	–78
	CdBr_2	гекс.	–316	+139	–297
	CdCO_3	триг.	–754	+97	–674
	CdC_2O_4	тв.	–922	—	—
	CdCl_2	триг.	–392	+115	–344
	$[\text{CdCl}_2]$	раствор	–405	+110	–356
	CdCl^+	раствор	–240	+32	–220
	CdF_2	куб.	–700	+89	–651



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^0$, кДж/моль	S_{298}^0 , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^0$, кДж/моль
	CdI_2	гекс.	-206	+161	-204
	$\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$	тв.	-453	—	—
	$[\text{CdNO}_3]^+$	раствор	-305	-3	-187
	CdO	куб.	-258	+55	-228
	CdOH^+	раствор	—	—	-272
	$\text{Cd}(\text{OH})_2$	триг.	-563	+88	-474
	CdS	гекс.	-152	+68	-147
	CdSO_4	ромб.	-933	+123	-822
	$[\text{Cd}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{2-}$	раствор	—	—	-1142
	CdSe	гекс.	-136	+97	-137
	CdSeO_3	тв.	-576	+140	-498
	CdSeO_4	тв.	-643	—	—
	CdSiO_3	монокл.	-1189	+97	-1105
	CdTe	куб.	-108	+92	-908
Ce	Ce	куб. (α)	0	+76	0
	Ce^{3+}	раствор	-698	-201	-676
	CeCl_3	гекс.	-1029	+146	-950
	CeF_3	гекс.	-1680	+115	-1601
	Ce_2O_3	триг.	-1801	+148	-1708
	$\text{Ce}(\text{OH})_3$	аморфн.	-1409	+110	-1269
	CePO_4	монокл.	-1939	+115	-1816
	$\text{Ce}(\text{SO}_4)_2$	тв.	-2347	+201	-2121
	$\text{Ce}_2(\text{SO}_4)_3$	монокл.	-3955	—	—
Cl	Cl_2	газ	0	+223	0
	$[\text{Cl}_2]$	раствор	-23	+121	+7
	Cl	газ	+122	+165	+106



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
	Cl ⁻	раствор	-167	+56	-131
	HCl	газ	-92	+187	-95
	Cl ₂ O	газ	+76	+266	+94
	[HClO]	раствор	-121	+146	-80
	ClO ⁻	раствор	-107	+42	-37
	Cl ₂ O ₆	жидк.	-155	—	—
	[HClO ₂]	раствор	-52	+188	-28
	ClO ₂ ⁻	раствор	-67	+101	-17
	ClO ₂	газ	+104	+257	+122
	ClO ₃ ⁻	раствор	-98	+163	-3
	Cl ₂ O ₇	газ	+287	+565	+399
		жидк.	+272	—	—
	HClO ₄	жидк.	-35	+188	+84
	ClO ₄ ⁻	раствор	-129	+183	-9
Co	Co	гекс.	0	+30	0
	Co ²⁺	раствор	-59	-109	-56
	Co ³⁺	раствор	+25	-316	+78
	CoBr ₂	триг.	-215	+134	-201
	CoCO ₃	гекс.	-716	+89	-640
	[Co ₂ (CO) ₈]	тв.	-1526	—	—
	CoCl ₂	триг.	-311	+109	-268
	CoCl ⁺	раствор	-224	-48	-187
	CoF ₂	тетр.	-666	+82	-621
	CoF ₃	триг.	-779	+93	-707
	CoI ₂	триг.	-94	+159	-98
	[Co(NH ₃) ₆] ²⁺	раствор	—	—	-238



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
	$[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$	раствор	-595	+334	-221
	$[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Br}_2$	куб.	-909	—	—
	$[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_2$	куб.	-999	—	—
	$[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$	монокл.	-1132	+255	-576
	$[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}]\text{Cl}_2$	ромб.	-1023	+366	-588
	$\text{Co}(\text{NO}_3)_2$	тв.	-422	+192	-230
	CoO	куб.	-239	+53	-215
	Co_3O_4	куб.	-897	+103	-761
	$\text{Co}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	аморфн.	-1451	+201	-1193
	$\text{Co}(\text{OH})_2$	триг.	-537	+82	-454
	CoOOH	ромб.	-456	—	—
	CoS	гекс.	-85	+62	-85
	CoSO_4	ромб.	-868	+113	-761
	$[\text{CoSO}_4]$	раствор	-966	-39	-813
	CoSe	гекс.	-79	—	—
	Co_2SiO_4	ромб.	-1411	+159	-1313
Cr	Cr	куб.	0	+24	0
	Cr^{2+}	раствор	-139	+42	-183
	Cr^{3+}	раствор	-236	-216	-223
	CrBr_3	триг.	-400	+160	-373
	$[\text{Cr}(\text{CO})_6]$	ромб.	-1078	+314	-970
	CrCl_2	ромб.	-395	+115	-356
	CrCl_3	триг.	-516	+123	-446
	CrCl_2^\ddagger	раствор	-546	-87	-466
	CrCl^{2+}	раствор	—	—	-339
	CrF_2	монокл.	-754	+84	-711



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
	CrF ₃	ромб.	-1112	+94	-1042
	CrI ₂	монокл.	-226	+155	-230
	CrI ₃	триг.	-205	—	—
	CrN	куб.	-124	+53	-104
	CrNH ₄ (SO ₄) ₂ ·12H ₂ O	куб.	-5562	+715	-4563
	CrO ₃	ромб.	-584	+67	-505
	Cr ₂ O ₃	триг.	-1141	+81	-1059
	[H ₂ CrO ₄]	раствор	-844	+260	-752
	HCrO ₄ ⁻	раствор	-872	+180	-758
	CrO ₄ ²⁻	раствор	-882	+54	-740
	HCr ₂ O ₇ ⁻	раствор	—	—	-1308
	Cr ₂ O ₇ ²⁻	раствор	-1479	+254	-1288
	Cr ₃ O ₁₀ ³⁻	раствор	—	—	-1846
	Cr ₄ O ₁₃ ²⁻	раствор	—	—	-2385
	Cr(OH) ₂	аморфн.	-659	+81	-576
	Cr(OH) ₃	аморфн.	-976	+95	-847
	CrOH ²⁺	раствор	-446	-153	-418
	Cr(OH) ₂ ⁺	раствор	—	—	-624
	[Cr(OH) ₆] ³⁻	раствор	—	—	-312
	CrO ₂ Cl ₂	жидк.	-599	+207	-525
	CrO ₂ F ₂	газ	-820	—	—
	CrS	гекс.	-176	+65	-179
	Cr ₂ (SO ₄) ₃	гекс.	-3310	+288	-2986
	Cr ₂ Te ₃	тв.	—	+209	—
Cs	Cs	куб.	0	+85	0
	Cs ⁺	раствор	-258	+133	-292



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
	CsBr	куб.	–392	+117	–397
	CsBrO ₃	гекс.	–376	+162	–285
	Cs ₂ CO ₃	тв.	–1127	+189	–1039
	CsCl	куб. (α)	–443	+101	–415
	CsClO ₃	гекс.	–407	+163	–305
	CsClO ₄	ромб.	–443	+175	–314
	Cs ₂ CrO ₄	ромб.	–1429	+229	–1317
	CsF	куб.	–556	+93	–528
	CsH	куб.	–50	+79	–29
	CsHCO ₃	ромб.	–933	+130	–833
	CsI	куб.	–349	+123	–343
	CsIO ₃	куб.	–547	+167	–463
	CsN ₃	тетр.	–20	+134	+51
	CsNH ₂	тетр.	–119	—	—
	CsNO ₃	гекс.	–495	+146	–393
	CsO ₂	тетр.	–278	+65	–211
	Cs ₂ O	гекс.	–320	+126	–276
	Cs ₂ O ₂	ромб.	–404	+118	–327
	CsOH	тв.	–406	+84	–356
	Cs ₂ S	тв.	–343	+146	–326
	Cs ₂ SO ₄	ромб.	–1443	+212	–1324
	Cs ₂ SeO ₄	ромб.	–1136	+218	–1016
Cu	Cu	тв.	0	+33	0
	Cu ⁺	раствор	+72	+42	+50
	Cu ²⁺	раствор	+66	–96	+65
	CuBr	куб.	–105	+96	–101



Вещество	Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
CuBr ₂	монокл.	-143	+146	-131
CuCN	монокл.	+98	+90	+111
CuCO ₃	тв.	-594	+92	-518
Cu ₂ CO ₃ (OH) ₂	монокл.	-1048	+222	-901
CuCl	куб.	-136	+87	-119
CuCl ⁺	раствор	—	—	-71
CuCl ₂	монокл.	-216	+108	-172
CuCl ₂	раствор	-278	+211	-245
K ₂ [CuCl ₄]·2H ₂ O	тетр.	—	+355	—
(NH ₄) ₂ [CuCl ₄]·2H ₂ O	тетр.	-1460	+386	-1080
CuCrO ₄	ромб.	—	—	-687
CuF	куб.	-508	+69	-488
CuF ₂	куб.	-538	+69	-488
CuI	куб.	-68	+97	-70
[Cu(NH ₃) ₂] ²⁺	раствор	-37	+18	-16
[Cu(NH ₃) ₂] ⁺	раствор	-151	+264	-65
[Cu(NH ₃) ₂] ²⁺	раствор	-140	+118	-31
[Cu(NH ₃) ₃] ²⁺	раствор	-244	+204	-73
[Cu(NH ₃) ₄] ²⁺	раствор	-347	+281	-112
[Cu(NH ₃) ₆]Cl ₂	тетр.	-870	—	—
[Cu(NH ₃) ₄](NO ₃) ₂	ромб.	-828	—	—
Cu(NO ₃) ₂	тв.	-310	+192	-117
CuO	монокл.	-156	+43	-128
Cu ₂ O	куб.	-171	+92	-148
CuOH ⁺	раствор	—	—	-130
Cu(OH) ₂	аморфн.	-444	+84	-359



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
	$[\text{Cu}(\text{OH})_3]^-$	раствор	—	—	–492
	$[\text{Cu}(\text{OH})_4]^{2-}$	раствор	–894	+43	–658
	CuS	гекс.	–53	+67	–54
	Cu_2S	ромб.	–79	+121	–86
	CuSO_4	ромб.	–770	+112	–662
	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	трикл.	–2280	+301	–1880
	$[\text{CuSO}_4]$	раствор	–838	–18	–691
	Cu_2SO_4	тв.	–750	+184	–653
	CuSe	гекс.	–40	+83	–42
	$\text{Cu}(\text{Se}_2)$	тв.	–43	+97	–37
	Cu_2Se	куб. (α)	–55	+133	–62
	$\text{CuSiO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	тв.	–1359	+87	–1208
F	F	газ	+79	+159	+62
	F^-	газ	–260	+145	–267
		раствор	–334	–14	–280
	F_2	газ	0	+203	0
	HF	газ	–271	+174	–273
		жидк.	–303	—	—
	$[\text{HF}]$	раствор	–321	+91	–298
	HF_2^-	раствор	–642	+114	–577
	OF_2	газ	–22	+247	–5
Fe	O_2F_2	газ	+19	+277	+58
	Fe	куб.	0	+27	0
	Fe^{2+}	раствор	–93	–105	–92
	Fe^{3+}	раствор	–51	–279	–18
	FeBr^{2+}	раствор	—	–121	–113



Вещество	Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
FeBr ₂	триг.	-250	+138	-238
FeBr ₃	гекс.	-267	+184	-246
Fe ₃ C	ромб.	+24	+108	+18
[Fe(CN) ₆] ⁴⁻	раствор	+458	+98	+696
[Fe(CN) ₆] ³⁻	раствор	+630	+269	+748
Ba ₂ [Fe(CN) ₆]·6H ₂ O	монокл.	-2351	+115	-1741
K ₃ [Fe(CN) ₆]	ромб.	-175	+420	-52
K ₄ [Fe(CN) ₆]	тетр.	-1188	+598	-1088
FeCO ₃	триг.	-753	+96	-680
[Fe(CO) ₅]	жидк.	-764	+338	-695
FeCl ²⁺	раствор	-194	-116	-158
FeCl ₂	триг.	-342	+118	-303
FeCl ₂ ^{1/2}	раствор	—	—	-291
FeCl ₃	триг.	-396	+146	-340
FeCl ₃ ·6H ₂ O	монокл.	-2224	+352	-1804
[FeCl ₃]	раствор	—	—	-416
FeF ₂	тетр.	-661	+87	-618
FeF ₃	триг.	-1042	+98	-972
(Fe ^{II} Fe ^{III})O ₄	куб.	-1118	+146	-1015
[FeHPO ₄] ⁺	раствор	-1359	-158	-1170
FeI ₂	триг.	-116	+170	-124
(NH ₄) ₂ Fe(SO ₄) ₂ ·6H ₂ O	монокл.	-3922	—	—
FeO	куб.	-271	+61	-251
FeO ₄ ²⁻	раствор	-479	—	—
Fe ₂ O ₃	триг.	-824	+87	-742
Fe ₂ O ₃ ·3H ₂ O	аморфн.	-1653	+209	-1399



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
	FeOH ⁺	раствор	–328	+5	–291
	FeOH ²⁺	раствор	–293	–104	–243
	Fe(OH) ₂	триг.	–574	+92	–493
	Fe(OH) ₂ ⁺	раствор	—	—	–454
	[Fe(OH) ₄] [–]	раствор	—	—	–844
	FeO(OH)	ромб.	–559	+67	–490
	FePO ₄	тетр.	–1297	+101	–1185
	FeS	гекс. (α)	–101	+60	–101
	Fe(S ₂)	куб. (β)	–174	+53	–163
	FeSO ₄	ромб.	–928	+108	–820
	FeSO ₄ ·7H ₂ O	ромб.	–3015	+409	–2510
	[FeSO ₄]	раствор	–1000	–37	–847
	Fe ₂ (SO ₄) ₃	ромб.	–2581	+259	–2247
	FeSiO ₃	ромб.	–1195	+94	–1118
Fr	Fr	куб.	0	+94	0
Ga	Ga	ромб.	0	+41	0
	Ga ³⁺	раствор	–212	–321	–162
	GaBr ₃	тв.	–386	+167	–356
	GaCl ₃	тв.	–565	+133	–493
	GaF ₃	тв.	–1019	+84	–941
	GaI ₃	ромб.	–220	+209	–218
	GaN	гекс.	–107	+42	–79
	Ga ₂ O ₃	триг.	–1104	+85	–1013
	Ga(OH) ₃	куб.	–965	+113	–836
	[Ga(OH) ₄] [–]	раствор	—	—	–1013
	GaP	куб.	–102	+51	–93



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
	GaPO ₄	триг.	–1413	+104	–1297
	Ga ₂ S ₃	куб.	–510	+161	–505
Gd	Gd	гекс.	0	+68	0
	Gd ³⁺	раствор	–684	–201	–662
	GdCl ₃	монокл.	–1019	+146	–942
	Gd ₃ O ₃	монокл.	–1816	+151	–1729
Ge	Ge	куб.	0	+31	0
	GeBr ₂	газ	–69	+318	–109
	GeBr ₄	жидк.	–348	—	—
	GeCl ₂	газ	–177	+295	–189
	GeCl ₄	газ	–495	+348	–457
		жидк.	–565	+251	–498
	GeF ₂	газ	–473	+271	–484
	GeF ₄	газ	–1190	+303	–1150
	[GeF ₆] ^{2–}	раствор	–2026	+190	–1854
	GeH ₄	газ	+90	+90	+113
	Ge ₂ H ₆	газ	+162	+297	+209
	Ge ₃ H ₈	газ	+227	—	—
	GeI ₂	триг.	–92	+147	–92
	GeI ₄	куб.	–152	+257	–154
	GeO	тв.	–255	+50	–227
	GeO ₂	триг.	–555	+55	–501
	[Ge(OH) ₄]	раствор	—	—	–967
	[Ge(OH) ₆] ^{2–}	раствор	—	—	–1319
	GeS	ромб.	–69	+66	–70
	GeS ₂	ромб.	–38	+78	–40



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
H	H	газ	+218	+115	+203
	H ⁺	газ	+1536	+109	+1517
	[H ⁺]	раствор	0	0	0
	H ₂	газ	0	+131	0
He	He	газ	0	+126	0
Hf	Hf	гекс.	0	+46	0
	HfCl ₄	куб.	−990	+192	−901
	HfF ₄	монокл.	−1930	+113	−1830
	HfO ₂	монокл.	−1118	+59	−1061
Hg	Hg	жидк.	0	+76	0
	Hg ²⁺	раствор	+174	−25	+165
	Hg ₂ ²⁺	раствор	+172	+82	+154
	HgBr ₂	ромб.	−169	+180	−155
	Hg ₂ Br ₂	тетр.	−207	+218	−181
	Hg(CN) ₂	тетр.	+269	—	—
	Hg ₂ CO ₃	тв.	−553	+184	−469
	HgCl ₂	ромб.	−225	+146	−179
	[HgCl ₃] [−]	раствор	−389	+209	−309
	Hg ₂ Cl ₂	тетр.	−266	+192	−211
	HgF ₂	куб.	−421	+116	−372
	Hg ₂ F ₂	тетр.	−490	+175	−436
	HgI ₂	тетр. (α)	−105	+184	−103
	Hg ₂ I ₂	тетр.	−121	+235	−111
	Hg ₂ (N ₃) ₂	тв.	+594	+203	+750
	2Hg(NO ₃) ₂ ·H ₂ O	тв.	—	—	−564
	Hg ₂ (NO ₃) ₂ ·2H ₂ O	монокл.	−868	—	—



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
	HgO	ромб.	–91	+70	–58
	Hg ₂ O	тв.	–91	+130	–55
	HgS	куб. (β)	–59	+82	–51
	HgSO ₄	ромб.	–708	+136	–590
	Hg ₂ SO ₄	монокл.	–745	+201	–627
	HgSe	куб.	–59	+99	–53
Ho	Ho	гекс.	0	+76	0
	Ho ³⁺	раствор	–707	–197	–669
	HoCl ₃	монокл.	–979	+146	–900
	Ho ₂ O ₃	куб.	–1881	+158	–1791
I	I	газ	+107	+181	+70
	I [–]	раствор	–56	+109	–52
	I ₂	газ	+62	+261	+19
		ромб.	0	+116	0
	[I ₂]	раствор	+22	+135	+16
	HI	газ	+27	+206	+2
	[HI]	раствор	–55	+111	–51
	[HIO]	раствор	—	+120	–99
	I ₂ O ₅	тв.	–183	—	—
	HIO ₃	ромб.	–236	+117	–142
	IO ₃ [–]	раствор	–230	+116	–136
	H ₅ IO ₆	монокл.	–762	—	—
In	In	тетр.	0	+58	0
	In ³⁺	раствор	–182	–254	–98
	InCl ₃	тв.	–537	+138	–460
	In ₂ O ₃	куб.	–926	+108	–832



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^0$, кДж/моль	S_{298}^0 , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^0$, кДж/моль
	In(OH) ₃	куб.	–760	+107	–762
	In ₂ (SO ₄) ₃	монокл.	–2725	+302	–2386
	In ₂ S ₃	куб.	–427	+164	–413
Ir	Ir	куб.	0	+35	0
	IrCl ₃	тв.	–243	+151	–199
	IrO ₂	ромб.	–580	+59	–188
	IrS ₂	тв.	–126	+105	—
	Ir ₂ S ₃	ромб.	–245	+97	–224
K	K	куб.	0	+72	0
	K ⁺	раствор	–252	+101	–283
	KAl(SO ₄) ₂ ·12H ₂ O	куб.	–6063	+687	–5142
	KBO ₂	триг.	–982	+80	–924
	K ₂ B ₄ O ₇	тв.	–3523	+208	–3325
	KBr	куб.	–393	+96	–380
	KBrO ₃	триг.	–358	+149	–269
	KCH ₃ COO	монокл.	–723	—	—
	KCN	куб.	–114	+128	–102
	K ₂ CO ₃	монокл.	–1150	+156	–1064
	KCl	куб.	–437	+82	–409
	KClO ₃	монокл.	–399	+143	–297
	KClO ₄	ромб.	–433	+151	–303
	K ₂ CrO ₄	ромб.	–1398	+200	–1290
	K ₂ Cr ₂ O ₇	трикл.	–2068	+291	–1888
	KCr(SO ₄) ₂	триг.	–2352	+240	–2134
	KCr(SO ₄) ₂ ·12H ₂ O	куб.	–5784	+708	–4870
	KF	куб.	–569	+67	–539



Вещество	Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
KH	куб.	-55	+67	-37
KH ₂ AsO ₄	тетр.	-1187	+155	-1042
KHCO ₃	монокл.	-966	+109	-867
K(HF ₂)	тетр.	-928	+105	-860
KH ₂ PO ₄	ромб.	-1569	+135	-1416
K ₂ HPO ₄	тв.	-1776	+179	-1637
KHSO ₄	ромб. (α)	-1161	+142	-1033
KI	куб.	-331	+104	-325
KIO ₃	монокл.	-500	+151	-417
KIO ₄	тетр.	-508	+159	-397
KCl·MgCl ₂	тв.	-1086	—	—
KCl·MgCl ₂ ·6H ₂ O	ромб.	-2945	—	—
K ₂ Mg(SO ₄) ₂ ·6H ₂ O	монокл.	-4538	+536	-3968
KMnO ₄	ромб.	-829	+172	-729
K ₂ MnO ₄	ромб.	-1180	—	—
K ₂ MoO ₄	монокл.	-1499	+174	-1381
KN ₃	тетр.	-3	+86	+77
KNCS	ромб.	-202	+124	-180
KNO ₂	монокл.	-354	+117	-280
KNO ₃	ромб.	-495	+133	-395
KO ₂	тетр.	-284	+117	-238
KO ₃	тетр.	-261	+105	-181
K ₂ O	куб.	-363	+94	-322
K ₂ O ₂	ромб.	-440	+120	-376
KOH	ромб.	-425	+79	-379
[KOH]	раствор	-477	+92	-441



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^0$, кДж/моль	S_{298}^0 , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^0$, кДж/моль
	KPO_3	монокл.	-1246	+108	-1155
	K_3PO_4	куб.	-1988	+212	-1859
	$K_4P_2O_7$	тв.	-3202	+318	-2981
	$KReO_4$	тетр.	-1098	+168	-995
	K_2S	куб.	-421	+113	-406
	$K_2(S_3)$	ромб.	-474	+180	-460
	$K_2(S_4)$	ромб.	-472	+210	-458
	$K_2(S_5)$	трикл.	-475	+257	-465
	K_2SO_3	тв.	-1119	+155	-1025
	K_2SO_4	ромб.	-1438	+176	-1320
	$K_2S_4O_6$	монокл.	-1766	+310	-1598
	$K_2S_2O_8$	трикл.	-1918	+279	-1699
	K_2Se	куб.	-375	+120	-360
	K_2SeO_4	ромб.	-1120	+180	-1000
	K_2SiO_3	ромб.	-1542	+146	-1449
	K_2TiO_3	тв.	-1614	—	—
	KVO_3	ромб.	-1170	—	—
	K_2WO_4	монокл.	-1580	+170	-1460
Kr	Kr	газ	0	+164	0
	KrF_2	газ	+63	—	—
La	La	гекс.	0	+57	0
	La^{3+}	раствор	-707	-209	-686
	LaC_2	тетр.	-79	+73	-80
	$LaCl_3$	гекс.	-1062	+146	-989
	LaF_3	гекс.	-1732	+100	-1654
	LaI_3	ромб.	-700	+213	-695



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
	La_2O_3	триг.	-1793	+127	-1705
	$\text{La}(\text{OH})_3$	аморфн.	-1410	+145	-1286
	$\text{LaO}(\text{OH})$	тв.	-1079	—	—
	LaPO_4	монокл.	—	—	-1837
	La_2S_3	ромб.	-1287	+134	-1264
	$\text{La}_2(\text{SO}_4)_3$	тв.	-3932	+319	-3598
Li	Li	куб.	0	+29	0
	Li^+	раствор	-278	+11	-293
	LiAlO_2	гекс.	-1190	+53	-1128
	LiAsO_3	тв.	-893	—	—
	LiBO_2	монокл.	-1018	+52	-962
	$\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$	тетр.	-3377	+158	-3186
	LiBr	куб.	-350	+69	-339
	LiBrO_3	тв.	-344	—	—
	Li_2C_2	тв.	-59	+59	-56
	Li_2CO_3	монокл.	-1213	+90	-1129
	LiCl	куб.	-408	+59	-384
	LiClO_4	тв.	-381	+126	-254
	LiCrO_2	тв.	-926	+36	-906
	Li_2CuO_2	тв.	-781	—	—
	LiF	куб.	-616	+36	-588
	LiFeO_2	куб.	-766	+75	-711
	LiH	куб.	-90	+20	-68
	LiHF_2	тв.	-946	+71	-879
	LiI	куб.	-271	+77	-268
	LiN_3	тв.	+4	+72	+77



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
	Li_3N	гекс.	–198	+38	–155
	LiNH_2	тетр.	–180	—	—
	LiNO_2	тв.	–408	+84	–335
	LiNO_3	триг.	–488	+88	–385
	Li_2O	куб.	–599	+38	–562
	Li_2O_2	гекс.	–636	+45	–571
	LiOH	тетр.	–485	+43	–439
	$[\text{LiOH}]$	раствор	–509	—	—
	Li_3PO_4	ромб.	–2092	+105	–1963
	Li_2S	куб.	–447	+63	–439
	Li_2SO_4	монокл.	–1436	+114	–1321
	$\text{Li}_2\text{SeO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	тв.	–1330	—	—
	Li_2SiO_3	ромб.	–1653	+76	–1561
	Li_2TiO_3	куб.	–1668	+92	–1577
	Li_2WO_4	триг.	–1604	+113	–1488
Lu	Lu	гекс.	0	+51	0
	Lu^{3+}	раствор	—	–192	–653
	LuCl_3	монокл.	–950	+146	–879
	Lu_2O_3	куб.	–1878	+110	–1789
Mg	Mg	гекс.	0	+33	0
	Mg^{2+}	раствор	–462	–120	–455
	$\text{Mg}(\text{AlO}_2)_2$	куб.	–2315	+81	–2190
	MgBr_2	триг.	–517	+123	–499
	MgCO_3	триг.	–1096	+66	–1012
	MgCl_2	триг.	–641	+90	–592
	$\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2$	тв.	–587	+218	–331



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^0$, кДж/моль	S_{298}^0 , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^0$, кДж/моль
	MgCrO ₄	тв.	-1344	+123	-1242
	(MgCr ^{III} ₂)O ₄	куб.	-1490	+119	-1379
	MgCr ₂ O ₇	тв.	-1957	+218	-1783
	MgF ₂	тетр.	-1124	+57	-1071
	(MgFe ^{III} ₂)O ₄	куб. (α)	-1428	+124	-1317
	MgH ₂	тв.	-77	+31	-37
	MgI ₂	триг.	-364	+134	-360
	MgMoO ₄	тв.	-1401	+119	-1296
	Mg ₃ N ₂	куб.	-461	+88	-401
	MgNH ₄ AsO ₄ ·6H ₂ O	ромб.	-3326	—	—
	Mg(NH ₄) ₂ (SO ₄) ₂ ·6H ₂ O	монокл.	-4294	—	—
	Mg(NO ₃) ₂	тв.	-790	+164	-589
	MgO	куб.	-601	+27	-569
	Mg(OH) ₂	триг.	-925	+63	-834
	Mg ₃ P ₂	куб.	-466	—	—
	Mg ₂ P ₂ O ₇	монокл.	—	+155	—
	Mg ₃ (PO ₄) ₂	тв.	-3790	+189	-3548
	MgS	куб.	-347	+46	-341
	MgSO ₃	тв.	-1013	+92	-929
	MgSO ₄	ромб.	-1280	+92	-1166
	Mg ₂ Si	куб.	-78	+82	-77
	MgSiO ₃	ромб.	-1549	+68	-1462
	MgTiO ₃	триг.	-1571	+75	-1483
	MgWO ₄	монокл.	-1535	+101	-1423
Mn	Mn	куб. (α)	0	+32	0
	Mn ²⁺	раствор	-220	-67	-230



Вещество	Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
MnBr ₂	триг.	-379	+140	-366
Mn ₃ C	ромб.	-17	+99	-16
MnCO ₃	триг.	-894	+86	-817
[Mn(CO) ₅]	газ	-751	—	—
[Mn ₂ (CO) ₁₀]	газ	-1610	—	—
MnCl ₂	куб.	-481	+118	-440
MnF ₂	тетр.	-847	+93	-805
MnI ₂	триг.	-263	+153	-264
(Mn ^{II} Mn ^{III})O ₄	тетр.	-1385	+149	-1279
Mn ₃ N ₂	тв.	-485	—	—
Mn(NO ₃) ₂	тв.	-703	+167	-503
MnO	куб.	-385	+60	-363
MnO ₂	тетр.	-520	+53	-465
MnO ₄ ²⁻	раствор	—	+191	-449
MnO ₄ ⁻	раствор	-533	+196	-440
Mn ₂ O ₃	куб.	-958	+110	-880
Mn ₂ O ₃ ·3H ₂ O	ромб.	-1775	+201	-1515
Mn ₂ O ₇	жидк.	-726	+171	-544
Mn(OH) ₂	триг.	-702	+82	-617
MnO(OH)	монокл.	-577	—	—
Mn ₃ (PO ₄) ₂	тв.	-3066	+300	-2858
MnS	куб. (α)	-214	+78	-218
MnSO ₄	ромб.	-1066	+112	-958
[MnSO ₄]	раствор	-1127	+3	-987
Mn ₂ (SO ₄) ₃	аморфн.	-2768	+259	-2431
Mn ₂ SiO ₄	ромб.	-1730	+163	-1632



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
Mo	Mo	куб.	0	+29	0
	[Mo(CO) ₆]	газ	–914	+494	–859
		ромб.	–983	+327	–878
	MoCl ₂	аморфн.	–288	+113	–247
	MoCl ₃	монокл.	–393	+138	–325
	MoCl ₄	гекс.	–474	+201	–392
	MoCl ₅	монокл.	–528	+225	–420
	MoF ₆	жидк.	–1586	+260	–1473
	MoI ₂	тв.	–47	+167	–54
	MoI ₃	тв.	–61	+209	–63
	MoI ₄	тв.	–82	+268	–84
	MoO ₂	монокл.	–590	+46	–534
	MoO ₃	ромб.	–745	+78	–668
	H ₂ MoO ₄	тв.	–1045	+159	–950
	MoO ₄ ^{2–}	раствор	–997	+59	–915
	MoS ₂	гекс.	–234	+66	–226
N	N	газ	+473	+153	+456
	N ₂	газ	0	+200	0
	HN ₃	жидк.	+264	+141	+327
	N ₃ [–]	раствор	—	+108	+348
	NF ₃	газ	–133	+261	–91
	NH ₃	газ	–46	+192	–16
	NH ₄ ⁺	раствор	–132	+114	–79
	N ₂ H ₄	газ	+95	+238	+159
		жидк.	+51	+121	+149
	[N ₂ H ₄]	раствор	—	+138	+128



Вещество	Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
$N_2H_6Cl_2$	куб.	-364	—	—
NH_4Br	куб.	-271	+113	-175
NH_4BrO_4	тв.	—	+200	—
NH_4CH_3COO	тв.	-615	—	—
NH_4Cl	куб. (α)	-315	+95	-203
NH_4ClO_4	ромб.	-295	+184	-88
$(NH_4)_2CrO_4$	монокл.	-1182	+168	-996
$(NH_4)_2Cr_2O_7$	монокл.	-1799	—	—
NH_4F	гекс.	-467	+72	-352
$NH_4(HCO_3)$	монокл.	-850	+121	-666
$NH_4(HF_2)$	ромб.	-807	+116	-655
$NH_4(H_2PO_4)$	тетр.	-1446	+152	-1211
$(NH_4)_2(HPO_4)$	монокл.	-1566	—	—
$NH_4(HS)$	тетр.	-158	+98	-51
$NH_4(HSO_3)$	ромб.	-769	—	—
$NH_4(HSO_4)$	ромб.	-1027	—	—
NH_4I	куб.	-202	+117	-113
NH_4IO_3	ромб.	-384	—	—
NH_4N_3	ромб.	+115	+113	+274
NH_4NCS	монокл.	-82	+261	+11
NH_4NO_2	тв.	-238	+254	-117
NH_4NO_3	ромб.	-366	+151	-184
NH_2OH	газ	-51	+236	-4
	ромб.	-115	+67	-17
$[NH_2OH]$	раствор	-98	+167	-23
$(NH_4)_2SO_3 \cdot H_2O$	монокл.	-1185	—	—



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	ромб.	–1181	+220	–901
	$(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$	монокл.	–1648	—	—
	NH_4VO_3	ромб.	–1051	+141	–886
	N_2O	газ	+82	+225	+104
	NO	газ	+91	+211	+87
	NO_2	газ	+33	+240	+51
	N_2O_3	газ	+83	+312	+139
	N_2O_4	газ	+10	+304	+98
		жидк.	+9	+220	+98
	N_2O_5	газ	+11	+356	+115
		гекс.	–43	+178	+114
	$(\text{NO})\text{Br}$	газ	+82	+274	+82
	$(\text{NO})\text{Cl}$	газ	+53	+262	+67
	$(\text{NO}_2)\text{Cl}$	газ	+12	+272	+54
	$(\text{NO})\text{F}$	газ	–66	+248	–51
	$(\text{NO}_2)\text{F}$	газ	–108	+260	–66
	$(\text{NO})\text{I}$	газ	+100	+283	+92
	$[\text{HNO}_2]$	раствор	–119	+153	–56
	NO_2^-	раствор	–105	+140	–4
	HNO_3	жидк.	–174	+156	–81
	NO_3^-	раствор	–207	+147	–111
Na	Na	куб.	0	+51	0
	Na^+	раствор	–240	+59	–262
	NaAlO_2	гекс.	–1133	+71	–1070
	$\text{NaAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	куб.	–5983	—	—
	Na_3AsO_4	ромб.	–1535	+186	–1412



Вещество	Состояние	$\Delta_f H_{298}^0$, кДж/моль	S_{298}^0 , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^0$, кДж/моль
NaBO ₂	триг.	-976	+74	-920
Na ₂ B ₄ O ₇	трикл.	-3291	+190	-3096
NaBr	куб.	-361	+87	-349
NaBrO ₃	куб.	-343	+131	-253
Na ₂ C ₂	тетр.	-19	+111	-18
NaCH ₃ COO	монокл.	-709	+124	-608
NaCN	куб.	-90	+118	-80
Na ₂ CO ₃	монокл.	-1132	+135	-1048
Na ₂ CO ₃ ·10H ₂ O	монокл.	-4083	+565	-3432
Na ₂ C ₂ O ₄	тв.	-1321	—	—
NaCl	куб.	-411	+72	-384
NaClO ₂	тв.	-306	+113	-230
NaClO ₃	куб.	-338	+223	-264
NaClO ₄	ромб.	-382	+142	-254
NaCrO ₂	тв.	-857	+96	-794
Na ₂ CrO ₄	ромб.	-1336	+180	-1230
Na ₂ CrO ₄ ·10H ₂ O	монокл.	-4277	—	—
Na ₂ Cr ₂ O ₇	тв.	-1967	+277	-1791
NaF	куб.	-577	+51	-547
NaFeO ₂	триг.	-698	+88	-640
NaH	куб.	-52	+47	-32
NaHCO ₃	монокл.	-914	+102	-816
Na(HF) ₂	триг.	-922	+91	-854
NaH ₂ PO ₄	тв.	-1545	+127	-1394
Na ₂ HPO ₄	тв.	-1755	+150	-1615
Na ₂ H ₂ P ₂ O ₇	монокл.	-2764	+220	-2522



Вещество	Состояние	$\Delta_f H_{298}^0$, кДж/моль	S_{298}^0 , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^0$, кДж/моль
NaHS	триг.	-236	—	—
NaHSO ₄	трикл.	-1132	+125	-1003
NaI	куб.	-290	+99	-287
NaIO ₃	ромб.	-480	+135	-396
NaMnO ₄	тв.	-1682	+160	-1583
Na ₂ MoO ₄	куб.	-1454	+159	-1355
NaN ₃	триг.	+20	+71	+100
NaNCS	ромб.	-176	+113	-155
NaNH ₂	ромб.	-124	+77	-64
NaNCO	триг.	-120	+125	-81
NaNO ₂	ромб.	-359	+105	-285
NaNO ₃	триг.	-469	+117	-368
NaO ₂	куб.	-260	+116	-218
Na ₂ O	куб. (α)	-418	+75	-379
Na ₂ O ₂	гекс.	-510	+95	-447
NaOH	ромб.	-425	+64	-379
[NaOH]	раствор	-470	+48	-419
NaPO ₃	ромб.	-1220	+96	-1130
Na ₃ PO ₄	тетр.	-1917	+174	-1789
Na ₄ P ₂ O ₇	ромб.	-3166	+270	-2947
Na ₂ S	куб.	-372	+77	-355
Na ₂ (S ₄)	тетр.	-411	—	—
Na ₂ SO ₃	триг.	-1090	+146	-1002
Na ₂ SO ₄	ромб. (α)	-1388	+149	-1270
Na ₂ S ₂ O ₇	тв.	-1938	—	—
Na ₂ S ₂ O ₃	монокл.	-1117	+225	-1043



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
	Na_2Se	куб.	-343	+105	-331
	Na_2SeO_3	тв.	-961	—	—
	Na_2SeO_4	ромб.	-1101	+117	-971
	Na_2SiO_3	ромб.	-1588	+114	-1464
	Na_4SiO_4	монокл.	-2106	+196	-1976
	Na_2SnO_3	тв.	—	—	-974
	Na_2Te	куб.	-353	+132	-347
	Na_2TeO_3	ромб.	-977	—	—
	Na_2TiO_3	тв.	-2453	—	—
	NaVO_3	монокл.	-1147	+114	-1065
	Na_3VO_4	куб.	-1636	+190	-1516
	$\text{Na}_4\text{V}_2\text{O}_7$	гекс.	-2919	+318	-2722
	Na_2WO_4	куб.	-1547	+161	-1433
Nb	Nb	куб.	0	+36	0
	NbBr_5	ромб.	-556	+305	-523
	NbCl_5	тв.	-797	+216	-685
	NbF_5	монокл.	-1813	+160	-1699
	Nb_2O_5	монокл.	-1897	+137	-1764
Nd	Nd	гекс.	0	+73	0
	Nd^{3+}	раствор	-696	-210	-670
	NdCl_3	гекс.	-1041	+146	-963
	Nd_2O_3	гекс.	-1797	—	—
	$\text{Nd}(\text{OH})_3$	гекс.	-1404	+111	-1271
	$\text{Nd}_2(\text{SO}_4)_3$	монокл.	-6382	—	—
Ne	Ne	газ	0	+146	0
Ni	Ni	куб.	0	+30	0



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
	Ni^{2+}	раствор	–54	–129	–45
	NiBr_2	триг.	–220	+130	–205
	NiCO_3	ромб.	–689	+86	–612
	NiC_2O_4	тв.	–863	+133	–768
	$[\text{Ni}(\text{CO})_4]$	газ	–586	+399	–567
		жидк.	–630	+313	–585
	NiCl_2	триг.	–305	+98	–259
	NiF_2	тетр.	–657	+74	–610
	NiI_2	триг.	–96	+141	–95
	$[\text{Ni}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$	раствор	—	+238	–195
	$[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$	раствор	—	+356	–253
	$[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_2$	куб.	–997	—	—
	$[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]\text{I}_2$	куб.	–789	—	—
	$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$	тв.	–430	+192	–238
	NiO	куб.	–240	+38	–212
	$\text{Ni}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	аморфн.	–1341	+192	–1080
	$\text{Ni}(\text{OH})_2$	триг.	–544	+80	–459
	NiS	триг.	–83	+53	–80
	NiSO_4	ромб.	–873	+104	–763
О	O	газ	+247	+161	+232
	O_2	газ	0	+205	0
	O_3	газ	+142	+239	+163
	OH^-	раствор	–230	–11	–157
	H_2O	газ	–242	+189	–229
		гекс.	–292	+39	–234
		жидк.	–286	+70	–237



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
	H_2O_2	газ	-137	+233	-106
		жидк.	-187	+110	-120
	$[H_2O_2]$	раствор	-191	+143	-134
Os	Os	гекс.	0	+33	0
	$OsCl_3$	куб.	-191	—	—
	$OsCl_4$	тв.	-255	+155	-158
	OsO_3	газ	-163	—	—
	OsO_4	газ	-336	+294	-292
		монокл.	-391	+134	-299
	$Os(S_2)$	куб.	-145	+55	-132
P	P (красн.)	аморфн.	-17	+23	-12
	P (черн.)	ромб.	-38	+23	-33
	P_4 (бел.)	куб.	0	+164	0
	P_4	газ	+60	+280	+25
	PBr_3	газ	-139	+348	-163
		жидк.	-185	+240	-176
	PBr_5	ромб.	-229	—	—
	$POBr_3$	газ	-390	+360	-387
	PCl_3	газ	-287	+312	-268
		жидк.	-319	+217	-272
	PCl_5	газ	-375	+364	-305
		тетр.	-445	+171	-318
	$POCl_3$	газ	-560	+325	-514
		жидк.	-597	+222	-521
	PF_3	газ	-919	+273	-897
	PF_5	газ	-1593	+293	-1517



Вещество	Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
POF ₃	газ	-1198	+225	-1149
PH ₃	газ	+5	+210	+13
PH ₄ Br	куб.	-128	+110	-48
PH ₄ I	тетр.	-69	+123	+2
PI ₃	гекс.	-46	—	—
P ₄ O ₆	газ	-1594	+347	-1465
	монокл.	-1640	—	—
P ₄ O ₁₀	газ	-3199	+395	-2657
	триг.	-2984	+229	-2698
H ₃ PO ₂	тв.	-615	—	—
H ₃ PO ₃	ромб.	-952	—	—
[H ₃ PO ₃]	раствор	-965	+79	-847
H ₂ PO ₃ ⁻	раствор	-969	+80	-831
HPO ₃ ²⁻	раствор	-969	+17	-812
HPO ₃	аморфн.	-977	—	—
H ₄ P ₂ O ₇	тв.	-2242	—	—
[H ₄ P ₂ O ₇]	раствор	—	+285	-2037
H ₂ P ₂ O ₇ ²⁻	раствор	-2279	+176	-2015
P ₂ O ₇ ⁴⁻	раствор	—	-105	-1924
H ₃ PO ₄	жидк.	-1267	+201	-1134
H ₃ PO ₄	монокл.	-1279	+110	-1119
[H ₃ PO ₄]	раствор	-1288	+158	-1143
H ₂ PO ₄ ⁻	раствор	-1302	+90	-1135
HPO ₄ ²⁻	раствор	-1299	-37	-1094
PO ₄ ³⁻	раствор	-1277	-220	-1019



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
Pb	Pb	куб.	0	+65	0
	Pb ²⁺	раствор	-1	+11	-24
	PbBr ₂	ромб.	-278	+162	-262
	Pb(CH ₃ COO) ₂	тв.	-961	—	—
	PbCO ₃	ромб.	-703	+131	-629
	PbC ₂ O ₄	тв.	-852	+146	-750
	PbCl ₂	ромб.	-359	+136	-314
	PbCl ₄	жидк.	-329	—	—
	Pb(Cl)F	тетр.	-534	+115	-485
	PbCrO ₄	монокл.	-915	+169	-817
	PbF ₂	ромб.	-679	+96	-628
	PbI ₂	триг.	-178	+175	-176
	Pb(N ₃) ₂	ромб.	+382	+150	+528
	Pb(NO ₃) ₂	куб.	-447	+213	-251
	PbO	тетр. (α)	-219	+66	-189
	PbO ₂	тетр.	-277	+72	-218
	Pb(OH) ₂	гекс.	-545	+88	-452
	[Pb(OH) ₃] ⁻	раствор	—	—	-572
	Pb ₃ (PO ₄) ₂	гекс.	-2655	+353	-2433
	(Pb ₂ Pb ^{IV})O ₄	тетр.	-723	+211	-606
Pd	Pd	куб.	0	+38	0
	Pd ²⁺	раствор	—	—	+177
	PdBr ₂	монокл.	-107	+140	-92
	PdCl ₂	ромб.	-163	—	—



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
	$[\text{PdCl}_4]^{2-}$	раствор	—	+297	–428
	$[\text{PdCl}_6]^{2-}$	раствор	—	+231	–441
	PdI_2	монокл.	–63	—	—
	$[\text{Pd}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$	тетр.	–429	—	—
	PdO	тетр.	–119	+36	–88
	$\text{Pd}(\text{OH})_2$	аморфн.	–386	+92	–302
Pm	Pm	гекс.	0	+72	0
	Pm^{3+}	раствор	—	–172	–703
	PmCl_3	тв.	–1058	+40	–979
Pr	Pr	гекс.	0	+74	0
	Pr^{3+}	раствор	–665	–172	–713
	PrCl_3	гекс.	–1036	+144	–957
	Pr_2O_3	триг.	–1883	+130	–1736
	$\text{Pr}(\text{OH})_3$	гекс.	–1441	+96	–1297
Pt	Pt	куб.	0	+42	0
	PtBr_2	куб.	–100	+53	–58
	PtBr_4	ромб.	–159	+164	–105
	PtCl_2	ромб.	–106	+220	–93
	$[\text{PtCl}_4]^{2-}$	раствор	–503	+167	–369
	PtCl_4	куб.	–230	+268	–164
	$[\text{PtCl}_6]^{2-}$	раствор	–674	+220	–490
	$\text{K}_2[\text{PtCl}_4]$	тетр.	–1059	+80	–928
	$\text{K}_2[\text{PtCl}_6]$	куб.	–1252	+334	–1101
	$(\text{NH}_4)_2[\text{PtCl}_4]$	тетр.	–803	—	—
	$(\text{NH}_4)_2[\text{PtCl}_6]$	куб.	–984	—	—
	$\text{Rb}_2[\text{PtCl}_4]$	тв.	–1069	—	—



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
	PtI ₂	тв.	–63	—	—
	PtI ₄	аморфн.	–57	+281	–59
	PtO ₂	гекс.	–88	+281	–98
	Pt(OH) ₂	аморфн.	–352	+100	–269
	[Pt(OH) ₄] ^{2–}	раствор	—	—	–573
	PtS	тетр.	–82	+55	–76
	PtS ₂	триг.	–109	+75	–100
Rb	Rb	куб.	0	+77	0
	Rb ⁺	раствор	–251	+121	–284
	RbBr	куб.	–389	+108	–378
	RbBrO ₃	гекс.	–364	+159	–454
	Rb ₂ CO ₃	монокл.	–1134	+172	–1046
	RbCl	куб.	–436	+96	–408
	RbClO ₃	тв.	–404	+152	–301
	RbClO ₄	ромб.	–437	+167	–308
	Rb ₂ CrO ₄	ромб.	–1411	+218	–1301
	RbF	куб.	–554	+75	–523
	RbH	куб.	–59	+59	–34
	RbHCO ₃	ромб.	–958	+121	–858
	RbI	куб.	–334	+118	–329
	RbN ₃	тетр.	+4	+120	+77
	RbNH ₂	тв.	–110	—	+1
	RbNO ₃	триг.	–490	+142	–389
	RbO ₂	тетр.	–263	+59	–197
	Rb ₂ O	куб.	–337	+109	–293
	Rb ₂ O ₂	ромб.	–427	+105	–351



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
	RbOH	ромб.	-413	+79	-364
	Rb ₂ S	куб.	-354	+134	-339
	Rb ₂ SO ₄	ромб.	-1436	+197	-1317
	Rb ₂ SeO ₄	ромб.	-1124	+200	-1003
Re	Re	гекс.	0	+37	0
	[Re ₂ (CO) ₁₀]	газ	-1583	—	—
	ReF ₆	газ	-1353	+364	-1269
	ReO ₂	куб.	-400	+65	-347
	ReO ₃	куб.	-611	+81	-532
	ReO ₄ ⁻	раствор	-788	+204	-696
	Re ₂ O ₇	ромб.	-1263	+207	-1089
	ReS ₂	гекс.	-179	+96	-178
	Re ₂ S ₇	тв.	-451	+204	-423
Rh	Rh	куб.	0	+32	0
	RhCl ₃	тв.	-229	+159	-167
	[RhCl ₆] ³⁻	раствор	—	+209	-661
	Rh ₂ O ₃	триг.	-356	+106	-277
	Rh ₂ S ₃	ромб.	-243	—	—
Rn	Rn	газ	0	+168	0
Ru	Ru	гекс.	0	+29	0
	RuCl ₃	гекс.	-266	+128	-196
	RuO ₂	тетр.	-236	+61	-184
	RuO ₄	монокл.	-240	+141	-151
S	S	ромб. (α)	0	+32	0
		монокл. (β)	~ 0	+33	~ 0
		газ	+279	+168	+238



Вещество	Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
S_2	газ	+128	+228	+79
S_6	газ	+100	+354	+52
S_8	газ	+102	+431	+50
H_2S	газ	-21	+206	-34
$[H_2S]$	раствор	-40	+121	-28
HS^-	раствор	-18	+63	+12
H_2S_2	газ	+15	+261	-5
H_2S_4	жидк.	-13	—	—
H_2S_5	газ	+33	—	—
S_2Br_2	жидк.	-15	—	—
SCl_2	газ	-20	+282	-28
	жидк.	-49	—	—
SCl_4	жидк.	-56	—	—
S_2Cl_2	газ	-19	+331	-32
	жидк.	-61	+167	-25
$SOCl_2$	газ	-212	+308	-198
	жидк.	-247	—	—
SO_2Cl_2	газ	-361	+311	-316
	жидк.	-391	+216	-305
SF_2	газ	-296	+258	-303
SF_4	газ	-770	+290	-726
SF_6	газ	-1221	+291	-1117
S_2F_2	газ	-228	+290	-235
SO_2	газ	-297	+248	-300
$[SO_2 \cdot nH_2O]$	раствор	—	+232	-538
HSO_3^-	раствор	-626	+140	-528



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
	SO_3^{2-}	раствор	-635	-29	-485
	SO_3	жидк.	-439	+122	-368
		тв.	-454	+5	-369
	H_2SO_4	жидк.	-814	+157	-690
	HSO_4^-	раствор	-889	+124	-755
	SO_4^{2-}	раствор	-909	+18	-744
	$\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7$	тв.	-1272	—	—
	$[\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_3]$	раствор	-604	+242	-527
	HS_2O_3^-	раствор	-625	+163	-524
	$\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$	раствор	-652	+37	-514
	$\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$	раствор	-1339	+249	-1113
Sb	Sb	триг.	0	+46	0
	Sb_4	газ	+191	+351	+141
	SbBr_3	ромб.	-259	+207	-239
	SbCl_3	ромб.	-383	+184	-324
	$[\text{SbCl}_4]^-$	раствор	—	—	-476
	SbCl_5	жидк.	-440	+301	-350
	SbF_3	ромб.	-907	+105	-834
	SbH_3	газ	+145	+233	+148
	SbI_3	триг.	-98	+213	-96
	Sb_2O_3	ромб. (β)	-709	+141	-632
	$\text{Sb}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	аморфн.	-1543	+216	-1280
	$[\text{Sb}(\text{OH})_3]$	раствор	-774	+126	-647
	Sb_2O_5	куб.	-1008	+125	-865
	Sb_2S_3	ромб.	-158	+182	-156
	$\text{Sb}_2(\text{SO}_4)_3$	тв.	-2402	—	—



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
	Sb_2Se_3	ромб.	-127	+197	-121
	Sb_2Te_3	триг.	-57	+234	-55
Sc	Sc	гекс.	0	+35	0
	Sc^{3+}	раствор	-632	-264	-601
	$ScBr_3$	тв.	-752	+155	-720
	$ScCl_3$	триг.	-941	+128	-869
	Sc_2O_3	куб.	-1908	+77	-1819
	$Sc(OH)_3$	куб.	-1376	+93	-1243
Se	Se	тв.	0	+42	0
		аморфн.	+5	+48	+3
	$SeCl_4$	монокл.	-179	+184	-88
	SeF_6	газ	-1117	+314	-1017
	SeO_2	газ	-126	+265	-133
		тв.	-226	+67	-172
	H_2Se	газ	+30	+219	+16
	$[H_2Se]$	раствор	+19	+164	+22
	HSe^-	раствор	+16	+79	+44
	H_2SeO_3	ромб.	-525	—	—
	$[H_2SeO_3]$	раствор	-507	208	-426
	$HSeO_3^-$	раствор	-515	+134	-411
	H_2SeO_4	ромб.	-533	—	—
	$HSeO_4^-$	раствор	-576	+163	-451
	SeO_4^{2-}	раствор	-599	+54	-441
Si	Si	куб.	0	+19	0
	$SiBr_4$	газ	-420	+377	-436
	SiC	куб.	-65	+17	-63



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
	SiCl_4	жидк.	-687	+237	-619
	SiF_4	газ	-1616	+282	-1573
	$[\text{SiF}_6]^{2-}$	раствор	-2396	+125	-2207
	$\text{K}_2[\text{SiF}_6]$	куб.	-2966	+236	-2810
	$(\text{NH}_4)_2[\text{SiF}_6]$	триг.	-2687	+284	-2371
	$\text{Na}_2[\text{SiF}_6]$	триг.	-2918	+191	-2757
	SiH_4	газ	+34	+205	+57
	Si_2H_6	газ	+79	+274	+126
	Si_3H_8	газ	+121	—	—
	SiO	аморфн.	-902	+47	-849
	SiO_2 (α-кварц)	триг.	-912	+41	-857
	H_2SiO_3	аморфн.	-1189	—	-1019
	$[\text{H}_4\text{SiO}_4]$	раствор	-1462	+179	-1310
	H_3SiO_4^-	раствор	-1426	+113	-1254
	$\text{H}_2\text{SiO}_4^{2-}$	раствор	-1397	-13	-1187
	SiS_2	ромб.	-157	+91	-159
Sm	Sm	триг.	0	+70	0
	Sm^{3+}	раствор	-691	-212	-665
	SmCl_3	гекс.	-1053	+142	-975
	Sm_2O_3	монокл.	-1845	+151	-1727
Sn	Sn (сер.)	куб. (α)	-2	+44	~ 0
	Sn (бел.)	тетр. (β)	0	+52	0
	Sn^{2+}	раствор	-10	-23	-27
	Sn^{4+}	раствор	-2	-226	-2
	SnBr_2	ромб.	-268	+146	-251
	SnBr_4	ромб.	-406		



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
	SnCl_2	ромб.	-331	+132	-288
	$[\text{SnCl}_2]$	раствор	—	—	-303
	$[\text{SnCl}_3]^-$	раствор	—	—	-433
	SnCl_4	жидк.	-511	+265	-442
	$\text{K}_2[\text{SnCl}_6]$	куб.	-1482	+371	-1339
	SnO	тетр.	-286	+56	-257
	SnO_2	тетр.	-581	+52	-520
	Sn(OH)_2	аморфн.	-561	+155	-492
	$[\text{Sn(OH)}_3]^-$	раствор			-646
	$\text{SnO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	аморфн.	-1116	+155	-946
	SnS	тетр.	-110	+77	-108
	SnS_2	триг.	-82	+87	-74
	SnSO_4	ромб.	-887	—	—
	$\text{Sn(SO}_4)_2$	тв.	-1650	+155	-1451
Sr	Sr	куб. (α)	0	+53	0
	Sr^{2+}	раствор	-556	-27	-571
	SrBr_2	ромб.	-729	+136	-708
	SrC_2	тетр.	-84	—	—
	SrCO_3	ромб.	-1232	+97	-1152
	SrCl_2	куб.	-836	+126	-791
	SrCrO_4	монокл.	-1435	+142	-1332
	SrCr_2O_7	тв.	-2053	+229	-1878
	SrF_2	куб.	-1233	+82	-1181
	$(\text{SrFe}_2)\text{O}_4$	гекс.	-1081	—	—
	SrI_2	ромб.	-568	+159	-565
	$\text{Sr(IO}_3)_2$	трикл.	-1060	+243	-899



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^0$, кДж/моль	S_{298}^0 , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^0$, кДж/моль
	SrMoO ₄	тетр.	-1559	+141	-1454
	Sr(NO ₂) ₂	тв.	-766	+176	-623
	Sr(NO ₃) ₂	куб.	-988	+195	-790
	SrO	куб.	-604	+54	-574
	SrO ₂	тетр.	-637	—	—
	Sr(OH) ₂	тетр.	-957	+87	-867
	SrS	куб.	-453	+68	-448
	SrSO ₄	ромб.	-1467	+111	-1353
	SrSe	куб.	-387	—	—
	SrSeO ₃	тв.	-1051	+127	-969
	SrSeO ₄	монокл.	-1156	+113	-1039
	SrSiO ₃	гекс.	-1646	+97	-1562
	Sr ₂ SiO ₄	монокл.	-2329	+153	-2215
Ta	Ta	куб.	0	+42	0
	TaCl ₄	монокл.	-707	—	—
	TaCl ₅	монокл.	-858	+236	-750
	TaF ₅	монокл.	-1904	+170	-1791
	Ta ₂ O ₅	ромб.	-2048	+143	-1913
	TaO ₃	раствор	-1151	+151	-1073
Tb	Tb	гекс.	0	+73	0
	Tb ³⁺	раствор	—	-180	-690
	TbBr ₃	тв.	-839	—	—
	TbCl ₃	монокл.	-1045	+146	-937
	Tb ₂ O ₃	куб.	-1865	+149	-1774
Tc	Tc	гекс.	0	+33	0
	TcO ₂	монокл.	-433	+63	-381



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^0$, кДж/моль	S_{298}^0 , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^0$, кДж/моль
Te	TcO ₃	тв.	-540	+72	-460
	Tc ₂ O ₇	тв.	-1117	+184	-938
	HTcO ₄	тв.	-703	+139	-593
	TcO ₄ ⁻	раствор	-724	-314	-630
	Te	триг.	0	+50	0
	H ₂ Te	газ	+99	+229	+85
	[H ₂ Te]	раствор	+78	+141	+90
	HTe ⁻	раствор	+69	+62	+105
	Te ²⁻	раствор	+101	-64	+174
	TeBr ₄	монокл.	-209	+71	-125
	TeCl ₄	монокл.	-324	+209	-238
	TeF ₆	газ	-1369	+336	-1273
	TeI ₄	ромб.	-63	—	—
	TeO ₂	ромб.	-323	+80	-270
		газ	-59	+273	-64
	H ₂ TeO ₃	ромб.	-613	—	—
	[H ₂ TeO ₃]	раствор	-555	+218	-474
	HTeO ₃ ⁻	раствор	-556	+139	-452
	TeO ₃ ²⁻	раствор	-533	+13	-391
	H ₆ TeO ₆	монокл.	-1287	—	—
	[H ₆ TeO ₆]	раствор	-1182	+353	-972
	H ₅ TeO ₆ ⁻	раствор	-1158	+287	-928
	H ₄ TeO ₆ ²⁻	раствор	-1128	+178	-866
Ti	Ti	гекс.	0	+31	0
	TiBr ₂	куб.	-385	+126	-368
	TiBr ₃	тв.	-551	+177	-527



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
	TiBr ₄	куб.	-619	+241	-591
	TiCl ₂	триг.	-517	+106	-473
	TiCl ₃	триг.	-732	+140	-665
	TiCl ₄	жидк.	-805	+252	-738
	TiF ₂	газ	-654	+261	-662
	TiF ₃	ромб.	-1412	+103	-1343
	TiF ₄	аморфн.	-1649	+134	-1559
	TiI ₂	триг.	-270	+148	-270
	TiI ₃	тв.	-341	+192	-337
	TiI ₄	куб.	-386	+246	-381
	TiO	куб.	-519	+35	-490
	TiO ₂	тетр. (γ)	-944	+50	-889
	Ti ₂ O ₃	триг.	-1521	+79	-1434
	Ti(OH) ₃	аморфн.	-334	—	—
	TiO(OH) ₂	аморфн.	—	—	-1059
	TiS ₂	триг.	-425	+78	-430
Tl	Tl	гекс.	0	+64	0
	Tl ³⁺	раствор	+97	-192	+215
	TlBr	куб.	-172	+123	-167
	Tl ₂ CO ₃	монокл.	-699	+159	-615
	Tl ₂ C ₂ O ₄	монокл.	-883	—	—
	TlCl	куб.	-204	+111	-185
	TlCl ₃	монокл.	-315	+325	-293
	[TlCl ₃]	раствор	-351	+103	-263
	TlF	ромб.	-327	+96	-306
	TlF ₃	тв.	—	—	-515



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
	TlI	ромб.	-123	+128	-125
	TlNO ₃	ромб.	-242	+161	-151
	Tl ₂ O	гекс.	-178	+126	-147
	Tl ₂ O ₃	куб.	-411	+135	-321
	TlOH	тв.	-239	+88	-196
	[TlOH]	раствор	-222	+139	-194
	Tl ₂ O ₃ ·3H ₂ O	аморфн.	-1033	+204	-755
	Tl(OH) ₃	тв.	-517	+102	—
	Tl ₂ S	триг.	—	—	-88
	Tl ₂ S ₃	аморфн.	-116	+151	-94
	Tl ₂ SO ₄	ромб.	-931	+231	-830
	Tl ₂ Se	тетр.	-58	+172	-59
	Tl ₂ Te	тв.	-89	+177	-89
Tm	Tm	гекс.	0	+74	0
	Tm ³⁺	раствор	—	-186	-661
	TmCl ₃	монокл.	-962	+146	-884
	TmF ₃	газ	-1295	—	—
	TmI ₃	гекс.	-582	+218	-573
	Tm ₂ O ₃	куб.	-1888	+139	-1794
V	V	куб.	0	+29	0
	V ²⁺	раствор	-227	-135	-217
	V ³⁺	раствор	-263	-238	-242
	VBr ₂	тв.	—	—	-389
	VBr ₃	гекс.	-446	+142	-412
	VCl ₂	гекс.	-457	+97	-411
	VCl ₃	триг.	-581	+131	-512



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
	VCl_4	жидк.	-576	+235	-504
	VOCl	ромб.	-609	+75	-559
	VOCl_3	жидк.	-736	+242	-669
	VF_2	тв.	—	—	-707
	VF_3	ромб.	—	+98	—
	VF_4	гекс.	-1421	+123	-1328
	VF_5	ромб.	-1481	+192	-1378
	VI_2	триг. (α)	-256	+172	-264
	VN	куб.	-217	+37	-191
	VO	куб.	-432	+39	-404
	V_2O_3	триг.	-1218	+99	-1139
	VO_2	ромб.	-713	+52	-659
	V_2O_5	ромб.	-1550	+131	-1419
	$\text{VO}(\text{OH})_2$	монокл.	—	—	-887
	$[\text{VO}(\text{SO}_4)]$	раствор	—	—	-1204
	VO^{2+}	раствор	-489	-141	-446
	VO_2^+	раствор	-650	-42	-587
	VO_4^{3-}	раствор	—	—	-903
W	W	куб.	0	+33	0
	WBr_6	тв.	-385	+301	-329
	WC	гекс.	-41	+36	-40
	$[\text{W}(\text{CO})_6]$	газ	-881	+501	-826
		ромб.	-952	+332	-847
	WCl_5	монокл.	-518	+230	-411
	WCl_6	куб.	-620	+301	-501
	WF_6	куб.	-1750	+223	-1625



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
	WO ₂	монокл.	-590	+50	-534
	WO ₃	трикл.	-843	+76	-764
	WO ₃ ·H ₂ O	ромб.	-1172	+117	-1036
	WO ₄ ²⁻	раствор	-1073	+97	-931
	WS ₂	гекс.	-213	+68	-204
Xe	Xe	газ	0	+170	0
	XeCl ₂	газ	+161	—	—
	XeF ₂	тетр.	-176	—	—
	XeF ₄	монокл.	-251	—	—
Y	Y	гекс.	0	+44	0
	Y ³⁺	раствор	-702	-202	-687
	YF ₃	ромб.	-1718	+110	-1647
	YCl ₃	монокл.	-1025	+138	-953
	Y ₂ O ₃	куб.	-1905	+99	-1817
	Y(OH) ₃	гекс.	-1431	+103	-1298
Yb	Yb	куб. (α)	0	+60	0
	Yb ³⁺	раствор	—	-192	-657
	YbBr ₃	тв.	-794	—	—
	YbCl ₃	монокл.	-962	+146	-888
	Yb ₂ O ₃	куб.	-1815	+133	-1727
	Yb(OH) ₃	тв.	—	—	-1281
Zn	Zn	гекс.	0	+42	0
	Zn ²⁺	раствор	-154	-111	-147
	ZnBr ₂	тетр.	-330	+136	-313
	Zn(CH ₃ COO) ₂	тетр.	-1076	—	—
	Zn(CN) ₂	куб.	+90	—	—



Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
	$[\text{Zn}(\text{CN})_4]^{2-}$	раствор	-332	+259	-427
	ZnCO_3	триг.	-816	+82	-734
	ZnCl_2	тетр.	-415	+190	-369
	ZnF_2	тетр.	-764	+74	-713
	ZnI_2	тетр.	-212	+161	-212
	Zn_3N_2	куб.	-23	—	—
	$[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$	раствор	-677	+298	-536
	$[\text{Zn}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$	ромб.	-699	—	—
	$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$	тв.	-495	+192	-299
	ZnO	гекс.	-351	+44	-321
	$\text{Zn}(\text{OH})_2$	аморфн.	—	—	-550
		ромб.	-644	+75	-554
	$[\text{Zn}(\text{OH})_3]^-$	раствор	—	—	-705
	$[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$	раствор	—	—	-871
	Zn_3P_2	тетр.	-195	—	—
	$\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$	монокл.	-2900	—	—
	ZnS	гекс. (β)	-195	+68	-193
		куб. (α)	-209	+58	-204
	ZnSO_4	ромб.	-980	+110	-869
	$[\text{ZnSO}_4]$	раствор	-1060	-39	-905
	ZnSiO_3	ромб.	-1232	+90	-1149
Zr	Zr	гекс.	0	+39	0
	ZrC	куб.	-207	+33	-197
	ZrBr ₄	куб.	-759	+225	-724
	ZrCl ₄	монокл.	-981	+181	-890
	ZrF ₄	монокл.	-1911	+105	-1810

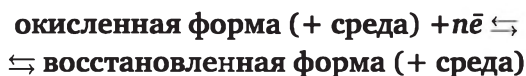


Вещество		Состояние	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(К·моль)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль
	ZrI ₄	куб.	–485	+257	–481
	ZrO ₂	монокл.	–1101	+51	–1043
	ZrO ₂ ·2H ₂ O	аморфн.	–1721	+130	–1548
	ZrN	куб.	–366	+39	–337
	ZrS ₂	триг.	–569	—	—
	Zr(SO ₄) ₂	тв.	–2244	—	—
	ZrSiO ₄	тетр.	–1990	+85	–1876



Стандартные окислительно-восстановительные потенциалы в водных растворах в алфавитном порядке названий элементов

Процесс восстановления окисленной формы (атома, молекулы, иона) описывается уравнением:



Данное равновесие характеризуется значением стандартного окислительно-восстановительного потенциала E^0 (В), измеренного в водных растворах с концентрацией 1 моль/л при температуре $t = 25^\circ\text{C}$ относительно стандартного водородного электрода ($pH = 0$, $p = 1$ атм).

Таблица составлена по элементам, расположенным в соответствии с русским алфавитом. В пределах одного элемента полуреакции располагаются в порядке увеличения степени окисления (δ) атома в окисленной форме. Каждая полуреакция и соответствующий окислительно-восстановительный потенциал помещены в раздел того элемента, который меняет свою степень окисления.

Таблица П6

**Стандартные окислительно-восстановительные потенциалы в водных растворах
при $t = 25^\circ\text{C}$**

ОВ полуреакции	δ	E^0 (В)
Азот		
$\text{N}_2\text{H}_4 + 4\text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + 2\text{OH}^-$	-2	+0,1
$\text{N}_2\text{H}_5^+ + 3\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{NH}_4^+$	-2	+1,275
$\text{NH}_2\text{OH} + 2\text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + 2\text{OH}^-$	-1	+0,42
$\text{NH}_3\text{OH}^+ + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{O}$	-1	+1,35
$\text{HN}_3 + 3\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{N}_{2(\text{газ})}$	-1	+1,96



ОВ полуреакции	δ	E^0 (В)
$N_{2(газ)} + 2H_2O + 4H^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2NH_3OH^+$	0	-1,87
$N_{2(газ)} + 4H_2O + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2NH_2OH + 2OH^-$	0	-3,04
$N_{2(газ)} + 5H^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons N_2H_5^+$	0	-0,23
$N_{2(газ)} + 4H_2O + 4\bar{e} \rightleftharpoons N_2H_4 + 4OH^-$	0	-1,16
$N_{2(газ)} + 8H^+ + 6\bar{e} \rightleftharpoons 2NH_4^+$	0	+0,275
$N_{2(газ)} + 6H^+ + 6\bar{e} \rightleftharpoons 2NH_{3(газ)}$	0	+0,057
$N_{2(газ)} + 8H_2O + 6\bar{e} \rightleftharpoons 2NH_3 \cdot H_2O + 6OH^-$	0	-0,74
$N_2O_{(газ)} + 6H^+ + H_2O + 4\bar{e} \rightleftharpoons 2NH_3OH^+$	+1	-0,05
$N_2O_{(газ)} + 5H_2O + 4\bar{e} \rightleftharpoons 2NH_2OH + 4OH^-$	+1	-1,05
$N_2O_{(газ)} + 10H^+ + 8\bar{e} \rightleftharpoons 2NH_4^+ + H_2O$	+1	+0,647
$N_2O_{(газ)} + 9H_2O + 8\bar{e} \rightleftharpoons 2NH_3 \cdot H_2O + 8OH^-$	+1	-0,32
$N_2O_{(газ)} + 2H^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons N_{2(газ)} + H_2O$	+1	+1,77
$N_2O_{(газ)} + H_2O + 2\bar{e} \rightleftharpoons N_{2(газ)} + 2OH^-$	+1	+0,94
$NO_{(газ)} + 6H^+ + 5\bar{e} \rightleftharpoons NH_4^+ + H_2O$	+2	+0,726
$NO_{(газ)} + 5H_2O + 5\bar{e} \rightleftharpoons NH_3 \cdot H_2O + 5OH^-$	+2	+0,19
$2NO_{(газ)} + 4H^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons N_{2(газ)} + 2H_2O$	+2	+1,678
$2NO_{(газ)} + 2H_2O + 4\bar{e} \rightleftharpoons N_{2(газ)} + 4OH^-$	+2	+0,85
$2NO_{(газ)} + 2H^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons N_2O_{(газ)} + H_2O$	+2	+1,59
$HNO_2 + 7H^+ + 6\bar{e} \rightleftharpoons NH_4^+ + 2H_2O$	+3	+0,864
$HNO_2 + 6H^+ + 6\bar{e} \rightleftharpoons NH_{3(газ)} + 2H_2O$	+3	+0,755
$HNO_2 + H^+ + \bar{e} \rightleftharpoons NO_{(газ)} + H_2O$	+3	+0,98
$2HNO_2 + 4H^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons N_2O_{(газ)} + 3H_2O$	+3	+1,297
$2HNO_2 + 6H^+ + 6\bar{e} \rightleftharpoons N_{2(газ)} + 4H_2O$	+3	+1,44
$NO_2 + H_2O + \bar{e} \rightleftharpoons NO_{(газ)} + 2OH^-$	+3	-0,46
$NO_2 + 6H_2O + 6\bar{e} \rightleftharpoons NH_3 \cdot H_2O + 7OH^-$	+3	-0,15
$NO_2 + 4H_2O + 6\bar{e} \rightleftharpoons N_{2(газ)} + 8OH^-$	+3	+0,41
$NO_{2(газ)} + H^+ + \bar{e} \rightleftharpoons HNO_2$	+4	+1,093



ОВ полуреакции	δ	E^0 (В)
$\text{NO}_{2(\text{газ})} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{NO}_{(\text{газ})} + \text{H}_2\text{O}$	+4	+1,045
$\text{NO}_{2(\text{газ})} + 8\text{H}^+ + 7\bar{e} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + 2\text{H}_2\text{O}$	+4	+0,897
$2\text{NO}_{2(\text{газ})} + 8\text{H}^+ + 8\bar{e} \rightleftharpoons \text{N}_{2(\text{газ})} + 4\text{H}_2\text{O}$	+4	+1,363
$\text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + \bar{e} \rightleftharpoons \text{NO}_{2(\text{газ})} + \text{H}_2\text{O}$	+5	+0,8
$\text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{NO}_{2(\text{газ})} + 2\text{OH}^-$	+5	-1,688
$\text{NO}_3^- + 3\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{HNO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	+5	+0,94
$\text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{NO}_2^- + 2\text{OH}^-$	+5	+0,01
$\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{NO}_{(\text{газ})} + 2\text{H}_2\text{O}$	+5	+0,96
$\text{NO}_3^- + 2\text{H}_2\text{O} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{NO}_{(\text{газ})} + 4\text{OH}^-$	+5	-0,14
$\text{NO}_3^- + 8\text{H}^+ + 6\bar{e} \rightleftharpoons \text{NH}_3\text{OH}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$	+5	+0,73
$\text{NO}_3^- + 5\text{H}_2\text{O} + 6\bar{e} \rightleftharpoons \text{NH}_2\text{OH} + 7\text{OH}^-$	+5	-0,3
$\text{NO}_3^- + 10\text{H}^+ + 8\bar{e} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + 3\text{H}_2\text{O}$	+5	+0,87
$\text{NO}_3^- + 7\text{H}_2\text{O} + 8\bar{e} \rightleftharpoons \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + 9\text{OH}^-$	+5	-0,12
$2\text{NO}_3^- + 10\text{H}^+ + 8\bar{e} \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_{(\text{газ})} + 5\text{H}_2\text{O}$	+5	+1,116
$2\text{NO}_3^- + 12\text{H}^+ + 10\bar{e} \rightleftharpoons \text{N}_{2(\text{газ})} + 6\text{H}_2\text{O}$	+5	+1,246
$2\text{NO}_3^- + 17\text{H}^+ + 14\bar{e} \rightleftharpoons \text{N}_2\text{H}_5^+ + 6\text{H}_2\text{O}$	+5	+0,84
Алюминий		
$\text{Al}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Al}$	+3	-1,66
$\text{Al}(\text{OH})_3 + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Al} + 3\text{OH}^-$	+3	-2,29
$[\text{Al}(\text{OH})_4]^- + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Al} + 4\text{OH}^-$	+3	-2,35
Барий		
$\text{Ba}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ba}$	+2	-2,91
$\text{Ba}(\text{OH})_{2(\text{тв})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ba} + 2\text{OH}^-$	+2	-2,81
Бериллий		
$\text{Be}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Be}$	+2	-1,97
$\text{BeO} + \text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Be} + 2\text{OH}^-$	+2	-2,613
$[\text{Be}(\text{OH})_4]^{2-} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Be} + 4\text{OH}^-$	+2	-2,62



ОВ полуреакции	δ	E^0 (В)
Бор		
$H_3BO_3(водн) + 3H^+ + 3e^- \rightleftharpoons B + 3H_2O$	+3	-0,89
$[B(OH)_4]^- + 3e^- \rightleftharpoons B + 4OH^-$	+3	-1,811
Бром		
$Br_{2(ж)} + 2e^- \rightleftharpoons 2Br^-$	0	+1,0652
$Br_{2(водн)} + 2e^- \rightleftharpoons 2Br^-$	0	+1,087
$HBrO + H^+ + 2e^- \rightleftharpoons Br^- + H_2O$	+1	+1,341
$2HBrO + 2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons Br_{2(газ)} + 2H_2O$	+1	+1,604
$BrO^- + H_2O + 2e^- \rightleftharpoons Br^- + 2OH^-$	+1	+0,766
$BrO_3^- + 3H_2O + 6e^- \rightleftharpoons Br^- + 6OH^-$	+5	+0,584
$BrO_3^- + 6H^+ + 6e^- \rightleftharpoons Br^- + 3H_2O$	+5	+1,44
$BrO_3^- + 2H_2O + 4e^- \rightleftharpoons BrO^- + 4OH^-$	+5	+0,492
$BrO_3^- + 5H^+ + 4e^- \rightleftharpoons HBrO + 2H_2O$	+5	+1,447
$2BrO_3^- + 6H_2O + 10e^- \rightleftharpoons Br_2 + 12OH^-$	+5	+0,5
$2BrO_3^- + 12H^+ + 10e^- \rightleftharpoons Br_2 + 6H_2O$	+5	+1,478
$BrO_4^- + H_2O + 2e^- \rightleftharpoons BrO_3^- + 2OH^-$	+7	+1,025
$BrO_4^- + 2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons BrO_3^- + 2H_2O$	+7	+1,853
Ванадий		
$V^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons V$	+2	-1,18
$VO + H_2O + 2e^- \rightleftharpoons V + 2OH^-$	+2	-0,820
$V^{3+} + e^- \rightleftharpoons V^{2+}$	+3	-0,255
$V_2O_3(тв) + H_2O + 2e^- \rightleftharpoons 2VO + 2OH^-$	+3	-0,486
$V_2O_3(тв) + 6H^+ + 2e^- \rightleftharpoons 2V^{2+} + 3H_2O$	+3	+0,135
$V^{3+} + 3e^- \rightleftharpoons V$	+3	-0,87
$VO^{2+} + e^- \rightleftharpoons VO^+$	+4	-0,044
$VO^{2+} + 2H^+ + e^- \rightleftharpoons V^{3+} + H_2O$	+4	+0,337
$HV_2O_5 + H_2O + 2e^- \rightleftharpoons V_2O_3 + 3OH^-$	+4	+0,542



ОВ полуреакции	δ	E^0 (В)
$\text{VO}^{2+} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{V}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$	+4	+0,056
$2\text{VO}_3^- + 4\text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{HV}_2\text{O}_5^- + 7\text{OH}^-$	+5	+2,19
$2\text{VO}_3^- + 5\text{H}_2\text{O} + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{V}_2\text{O}_3 + 10\text{OH}^-$	+5	+1,366
$2\text{VO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{VO} + 6\text{OH}^-$	+5	+0,749
$2\text{VO}_3^- + 4\text{H}_2\text{O} + 5\bar{e} \rightleftharpoons \text{V} + 8\text{OH}^-$	+5	+0,120
$\text{VO}_2^+ + 2\text{H}^+ + \bar{e} \rightleftharpoons \text{VO}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$	+5	+1,000
$\text{VO}_2^+ + 4\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{V}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$	+5	+0,668
$\text{VO}_2^+ + 4\text{H}^+ + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{V}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	+5	+0,361
$\text{VO}_2^+ + 4\text{H}^+ + 5\bar{e} \rightleftharpoons \text{V} + 2\text{H}_2\text{O}$	+5	-0,25
$\text{V}_2\text{O}_{5(\text{тв})} + 6\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{VO}^{2+} + 3\text{H}_2\text{O}$	+5	+0,958
$\text{HVO}_3 + 3\text{H}^+ + \bar{e} \rightleftharpoons \text{VO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	+5	+1,1
Висмут		
$\text{Bi}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Bi}$	+3	+0,317
$\text{Bi}(\text{OH})_3 + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Bi} + 3\text{OH}^-$	+3	-0,46
$\text{BiOH}^{2+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Bi} + \text{OH}^-$	+3	+0,072
$[\text{Bi}_6(\text{OH})_{12}]^{6+} + 18\bar{e} \rightleftharpoons 6\text{Bi} + 12\text{OH}^-$	+3	-0,234
$[\text{Bi}_9(\text{OH})_{22}]^{5+} + 27\bar{e} \rightleftharpoons 9\text{Bi} + 22\text{OH}^-$	+3	-0,336
$\text{BiO}^+ + 2\text{H}^+ + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Bi} + \text{H}_2\text{O}$	+3	+0,32
$\text{BiCl}_2^+ + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Bi} + \text{Cl}^-$	+3	+0,271
$\text{BiCl}_2^+ + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Bi} + 2\text{Cl}^-$	+3	+0,249
$[\text{BiCl}_4]^- + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Bi} + 4\text{Cl}^-$	+3	+0,199
$[\text{BiBr}_4]^- + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Bi} + 4\text{Br}^-$	+3	+0,168
$[\text{BiI}_4]^- + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Bi} + 4\text{I}^-$	+3	+0,027
$\text{BiOCl}_{(\text{тв})} + 2\text{H}^+ + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Bi} + \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$	+3	+0,17
$\text{BiOBr}_{(\text{тв})} + 2\text{H}^+ + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Bi} + \text{Br}^- + \text{H}_2\text{O}$	+3	+0,152
$(\text{Bi}^{5+}) + 2\bar{e} \rightleftharpoons (\text{Bi}^{3+})$	+5	+ 2
$\text{NaBiO}_3 + 4\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{BiO}^+ + \text{Na}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$	+5	+1,8



ОВ полуреакции	δ	E^0 (В)
Водород		
$H_{2(газ)} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2H^-$	0	-2,25
$H^+ + \bar{e} \rightleftharpoons H_{(газ)}$	+1	-2,1065
$H^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons H^-$	+1	-1,125
$2H^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons H_{2(газ)}$	+1	0
$3H^+ + As + 3\bar{e} \rightleftharpoons AsH_{3(газ)}$	+1	-0,6
$3H_2O + As + 3\bar{e} \rightleftharpoons AsH_{3(газ)} + 3OH^-$	+1	-1,37
$12H^+ + 2H_3BO_3 + 12\bar{e} \rightleftharpoons B_2H_{6(газ)} + 6H_2O$	+1	-0,506
$2H^+ + Ba^{2+} + 4\bar{e} \rightleftharpoons BaH_2$	+1	-1,11
$2H^+ + Ca^{2+} + 4\bar{e} \rightleftharpoons CaH_2$	+1	-1,045
$8H^+ + SiO_2 + 8\bar{e} \rightleftharpoons SiH_{4(газ)} + 2H_2O$	+1	-0,516
$8H^+ + H_4SiO_4 + 8\bar{e} \rightleftharpoons SiH_{4(газ)} + 4H_2O$	+1	-0,495
$3H^+ + Sb + 3\bar{e} \rightleftharpoons SbH_{3(газ)}$	+1	-0,51
$2H^+ + Sr^{2+} + 4\bar{e} \rightleftharpoons SrH_2$	+1	-1,085
$H_2O + \bar{e} \rightleftharpoons H_{(газ)} + OH^-$	+1	-2,9345
$2H_2O + 2\bar{e} \rightleftharpoons H_{2(газ)} + 2OH^-$	+1	-0,828
$2H_2O + Mg(OH)_{2(тв)} + 4\bar{e} \rightleftharpoons MgH_2 + 4OH^-$	+1	-1,663
Вольфрам		
$WO_2 + 4H^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons W + 2H_2O$	+4	-0,119
$WO_3 + 6H^+ + 6\bar{e} \rightleftharpoons W + 3H_2O$	+6	-0,090
$WO_4^{2-} + 2H_2O + 2\bar{e} \rightleftharpoons WO_{2(тв)} + 4OH^-$	+6	-1,259
$WO_4^{2-} + 4H_2O + 6\bar{e} \rightleftharpoons W + 8OH^-$	+6	-1,074
Галлий		
$Ga^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons Ga$	+3	-0,529
$[Ga(OH)_4]^- + 3\bar{e} \rightleftharpoons Ga + 4OH^-$	+3	-1,22
Гафний		
$Hf^{4+} + 4\bar{e} \rightleftharpoons Hf$	+4	-1,70
$HfO_2 \cdot 2H_2O + 4H^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons Hf + 4H_2O$	+4	-1,685



ОВ полуреакции	δ	E^0 (В)
$\text{HfO}_{2(\text{тв})} + 4\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Hf} + \text{H}_2\text{O}$	+4	-1,7
$\text{HfO}(\text{OH})_{2(\text{тв})} + \text{H}_2\text{O} + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Hf} + 4\text{OH}^-$	+4	-2,5
Германий		
$\text{Ge}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ge}$	+2	+0,247
$\text{GeO}_{(\text{тв})} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ge} + \text{H}_2\text{O}$	+2	-0,29
$\text{GeO}_{2(\text{тв})} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{GeO}_{(\text{тв})} + \text{H}_2\text{O}$	+4	-0,12
$\text{GeO}_{2(\text{тв})} + 4\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ge}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	+4	-0,3
$\text{GeO}_{2(\text{тв})} + 4\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ge} + 2\text{H}_2\text{O}$	+4	-0,15
$\text{H}_2\text{GeO}_3 + 4\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ge}^{2+} + 3\text{H}_2\text{O}$	+4	-0,363
$\text{H}_2\text{GeO}_3 + 4\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ge} + 3\text{H}_2\text{O}$	+4	-0,13
$\text{HGeO}_3^- + 2\text{H}_2\text{O} + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ge} + 5\text{OH}^-$	+4	-0,89
Железо		
$\text{Fe}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Fe}$	+2	-0,473
$\text{FeO} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Fe} + \text{H}_2\text{O}$	+2	-0,052
$\text{Fe}(\text{OH})_{2(\text{тв})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Fe} + 2\text{OH}^-$	+2	-0,877
$\text{FeCO}_{3(\text{тв})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Fe} + \text{CO}_3^{2-}$	+2	-0,756
$\text{FeS}_{(\text{тв})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Fe} + \text{S}^{2-}$	+2	-0,95
$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Fe} + 6\text{CN}^-$	+2	-1,5
$\text{Fe}_3\text{O}_{4(\text{тв})} + 8\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons 3\text{Fe}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	+8/3	+1,21
$\text{Fe}_3\text{O}_{4(\text{тв})} + 8\text{H}^+ + 8\bar{e} \rightleftharpoons 3\text{Fe} + 4\text{H}_2\text{O}$	+8/3	-0,085
$\text{Fe}^{3+} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}$	+3	+0,771
$\text{Fe}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Fe}$	+3	-0,037
$\text{Fe}^{3+} + \text{H}_2\text{O} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{FeO} + 2\text{H}^+$	+3	-0,035
$3\text{Fe}^{3+} + 4\text{H}_2\text{O} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Fe}_3\text{O}_4 + 8\text{H}^+$	+3	+0,35
$\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{тв})} + 6\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Fe}^{2+} + 3\text{H}_2\text{O}$	+3	+0,74
$\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{тв})} + 6\text{H}^+ + 6\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Fe} + 3\text{H}_2\text{O}$	+3	-0,051
$\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{тв})} + 6\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Fe}_3\text{O}_{4(\text{тв})} + \text{H}_2\text{O}$	+3	+0,22



ОВ полуреакции	δ	E^0 (В)
$\text{Fe(OH)}_{3(\text{тв})} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Fe(OH)}_{2(\text{тв})} + \text{OH}^-$	+3	-0,56
$\text{Fe}_2\text{S}_3 + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{FeS} + \text{S}^{2-}$	+3	-0,715
$[\text{Fe(OH)}_4]^- + \bar{e} \rightleftharpoons [\text{Fe(OH)}_4]^{2-}$	+3	+0,55
$[\text{Fe(CN)}_6]^{3-} + \bar{e} \rightleftharpoons [\text{Fe(CN)}_6]^{4-}$	+3	+0,361
$[\text{Fe(C}_2\text{O}_4)_3]^{3-} + \bar{e} \rightleftharpoons [\text{Fe(C}_2\text{O}_4)_2]^{2-} + \text{C}_2\text{O}_4^{2-}$	+3	+0,02
$\text{FeF}^{2+} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+} + \text{F}^-$	+3	+0,4
$\text{FeO}_4^{2-} + 8\text{H}^+ + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+} + 4\text{H}_2\text{O}$	+6	+1,9
$\text{FeO}_4^{2-} + 4\text{H}_2\text{O} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Fe(OH)}_{3(\text{тв})} + 5\text{OH}^-$	+6	+0,72
$\text{FeO}_4^{2-} + 4\text{H}_2\text{O} + 3\bar{e} \rightleftharpoons [\text{Fe(OH)}_4]^- + 4\text{OH}^-$	+6	+0,55
$\text{FeO}_4^{2-} + 8\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	+6	+1,001
Золото		
$\text{Au}^+ + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Au}$	+1	+1,83
$\text{AuCl}_{(\text{тв})} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Au} + \text{Cl}^-$	+1	+1,17
$[\text{AuCl}_2]^- + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Au} + 2\text{Cl}^-$	+1	+1,154
$[\text{AuBr}_2]^- + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Au} + 2\text{Br}^-$	+1	+0,96
$\text{AuI}_{(\text{тв})} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Au} + \text{I}^-$	+1	+0,53
$[\text{AuI}_2]^- + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Au} + 2\text{I}^-$	+1	+0,578
$[\text{Au(SCN)}_2]^- + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Au} + 2\text{SCN}^-$	+1	+0,662
$[\text{Au(CN)}_2]^- + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Au} + 2\text{CN}^-$	+1	-0,61
$\text{AuOH}_{(\text{тв})} + \text{H}^+ + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Au} + \text{H}_2\text{O}$	+1	+2,33
$\text{Au}^{3+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Au}^+$	+3	+1,36
$\text{Au}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Au}$	+3	+1,52
$\text{Au}_2\text{O}_{3(\text{тв})} + 6\text{H}^+ + 6\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Au} + 3\text{H}_2\text{O}$	+3	+1,457
$\text{Au}_2\text{O}_{3(\text{тв})} + 4\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Au}_2\text{O}_{(\text{тв})} + 2\text{H}_2\text{O}$	+3	+1,64
$2\text{Au(OH)}_{3(\text{тв})} + 4\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Au}_2\text{O} + 5\text{H}_2\text{O}$	+3	+1,71
$[\text{Au(OH)}_4]^- + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Au} + 4\text{OH}^-$	+3	+0,7
$[\text{AuCl}_4]^- + 2\bar{e} \rightleftharpoons [\text{AuCl}_2]^- + 2\text{Cl}^-$	+3	+0,926



ОВ полуреакции	δ	E^0 (В)
$[\text{AuCl}_4]^- + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Au} + 4\text{Cl}^-$	+3	+1,002
$[\text{AuBr}_4]^- + 2\bar{e} \rightleftharpoons [\text{AuBr}_2]^- + 2\text{Br}^-$	+3	+0,802
$[\text{AuBr}_4]^- + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Au} + 4\text{Br}^-$	+3	+0,854
$[\text{AuI}_4]^- + 2\bar{e} \rightleftharpoons [\text{AuI}_2]^- + 2\text{I}^-$	+3	+0,55
$[\text{AuI}_4]^- + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Au} + 4\text{I}^-$	+3	+0,56
$[\text{Au}(\text{SCN})_4]^- + 2\bar{e} \rightleftharpoons [\text{Au}(\text{SCN})_2]^- + 2\text{SCN}^-$	+3	+0,623
$[\text{Au}(\text{SCN})_4]^- + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Au} + 4\text{SCN}^-$	+3	+0,636
Индий		
$\text{In}^{3+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{In}^+$	+3	-0,444
$\text{In}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{In}$	+3	-0,338
$\text{In}(\text{OH})_{3(\text{тв})} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{In} + 3\text{OH}^-$	+3	-1
Иридий		
$\text{Ir}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ir}$	+3	+1,156
$\text{Ir}_2\text{O}_{3(\text{тв})} + 6\text{H}^+ + 6\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Ir} + 3\text{H}_2\text{O}$	+3	+0,926
$\text{Ir}_2\text{O}_{3(\text{тв})} + 3\text{H}_2\text{O} + 6\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Ir} + 6\text{OH}^-$	+3	+0,1
$[\text{IrCl}_6]^{3-} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ir} + 6\text{Cl}^-$	+3	+0,86
$\text{IrO}_{2(\text{тв})} + 4\text{H}^+ + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Ir}^{3+} + \text{H}_2\text{O}$	+4	+0,233
$\text{IrO}_{2(\text{тв})} + 4\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ir} + 2\text{H}_2\text{O}$	+4	+0,93
$\text{IrO}_{2(\text{тв})} + 2\text{H}_2\text{O} + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ir} + 4\text{OH}^-$	+4	+0,1
$2\text{IrO}_{2(\text{тв})} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Ir}_2\text{O}_{3(\text{тв})} + \text{H}_2\text{O}$	+4	+0,926
$[\text{IrCl}_6]^{2-} + \bar{e} \rightleftharpoons [\text{IrCl}_6]^{3-}$	+4	+0,867
$[\text{IrCl}_6]^{2-} + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ir} + 6\text{Cl}^-$	+4	+0,86
$[\text{IrBr}_6]^{2-} + \bar{e} \rightleftharpoons [\text{IrBr}_6]^{3-}$	+4	+0,947
$[\text{IrI}_6]^{2-} + \bar{e} \rightleftharpoons [\text{IrI}_6]^{3-}$	+4	+0,48
$\text{IrO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{IrO}_{2(\text{тв})} + 4\text{OH}^-$	+6	+0,4
Иттрий		
$\text{Y}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Y}$	+3	-2,372
$\text{Y}(\text{OH})_{3(\text{тв})} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Y} + 3\text{OH}^-$	+3	-2,85



ОВ полуреакции	δ	E^0 (В)
Йод		
$I_2 + 2e \rightleftharpoons 2I^-$	0	+0,621
$I_{2(тв)} + 2e \rightleftharpoons 2I^-$	0	+0,536
$HIO + H^+ + 2e \rightleftharpoons I^- + H_2O$	+1	+0,985
$2HIO + 2H^+ + 2e \rightleftharpoons I_{2(тв)} + 2H_2O$	+1	+1,45
$IO^- + H_2O + 2e \rightleftharpoons I^- + 2OH^-$	+1	+0,472
$2IO^- + 2H_2O + 2e \rightleftharpoons I_{2(тв)} + 4OH^-$	+1	+0,45
$IO_3^- + 5H^+ + 4e \rightleftharpoons HIO + 2H_2O$	+5	+1,14
$IO_3^- + 2H_2O + 4e \rightleftharpoons IO^- + 4OH^-$	+5	+0,14
$IO_3^- + 6H^+ + 6e \rightleftharpoons I^- + 3H_2O$	+5	+1,085
$IO_3^- + 3H_2O + 6e \rightleftharpoons I^- + 6OH^-$	+5	+0,257
$H_5IO_6 + H^+ + 2e \rightleftharpoons IO_3^- + 3H_2O$	+7	+1,644
$H_4IO_6^- + 2H^+ + 2e \rightleftharpoons IO_3^- + 3H_2O$	+7	+1,7
$H_3IO_6^{2-} + 2e \rightleftharpoons IO_3^- + 3OH^-$	+7	+0,656
$H_3IO_6^{2-} + 3H_2O + 8e \rightleftharpoons I^- + 9OH^-$	+7	+0,37
$H_2IO_6^{3-} + H_2O + 2e \rightleftharpoons IO_3^- + 4OH^-$	+7	+0,603
$IO_4^- + 2H^+ + 2e \rightleftharpoons IO_3^- + H_2O$	+7	+1,653
$IO_4^- + 8H^+ + 8e \rightleftharpoons I^- + 4H_2O$	+7	+1,4
Кадмий		
$Cd^{2+} + 2e \rightleftharpoons Cd$	+2	-0,403
$Cd(OH)_{2(тв)} + 2e \rightleftharpoons Cd + 2OH^-$	+2	-0,824
$[Cd(OH)_4]^{2-} + 2e \rightleftharpoons Cd + 4OH^-$	+2	-0,67
$CdCO_{3(тв)} + 2e \rightleftharpoons Cd + CO_3^{2-}$	+2	-0,734
$[Cd(NH_3)_4]^{2+} + 2e \rightleftharpoons Cd + 4NH_3$	+2	-0,622
$[Cd(CN)_4]^{2-} + 2e \rightleftharpoons Cd + 4CN^-$	+2	-0,943
$[CdCl_4]^{2-} + 2e \rightleftharpoons Cd + 4Cl^-$	+2	-0,453



ОВ полуреакции	δ	E^0 (В)
$[\text{CdBr}_4]^{2-} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cd} + 4\text{Br}^-$	+2	-0,488
$[\text{CdI}_4]^{2-} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cd} + 4\text{I}^-$	+2	-0,568
$\text{CdS}_{(\text{тв})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cd} + \text{S}^{2-}$	+2	-1,255
Калий		
$\text{K}^+ + \bar{e} \rightleftharpoons \text{K}$	+1	-2,924
Кальций		
$\text{Ca}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ca}$	+2	-2,84
$\text{Ca}(\text{OH})_{2(\text{тв})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ca} + 2\text{OH}^-$	+2	-3,026
Кислород		
$\text{S}_2\text{O}_8^{2-} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{SO}_4^{2-}$	-1	+2,010
$\text{S}_2\text{O}_8^{2-} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{HSO}_4^-$	-1	+2,08
$\text{HO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 3\text{OH}^-$	-1	+0,867
$\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$	-1	+1,77
$\text{O}_2^- + \text{H}_2\text{O} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{HO}_2^- + \text{OH}^-$	-0,5	+0,2
$\text{O}_2^- + 2\text{H}_2\text{O} + 3\bar{e} \rightleftharpoons 4\text{OH}^-$	-0,5	+0,7
$\text{O} + \text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{OH}^-$	0	+1,602
$\text{O} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}$	0	+2,43
$\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}_2$	0	+0,682
$\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{HO}_2^- + \text{OH}^-$	0	-0,076
$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$	0	+1,229
$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\bar{e} \rightleftharpoons 4\text{OH}^-$	0	+0,401
$\text{O}_2 + \bar{e} \rightleftharpoons \text{O}_2^-$	0	-0,284
$2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$	0	+0,383
$\text{O}_3 + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$	0	+2,005
$\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{O}_2 + 2\text{OH}^-$	0	+1,246
$\text{O}_3 + 6\text{H}^+ + 6\bar{e} \rightleftharpoons 3\text{H}_2\text{O}$	0	+1,511
$\text{OF}_{2(\text{газ})} + 4\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{HF}_{(\text{водн})} + \text{H}_2\text{O}$	+2	+2,246



ОВ полуреакции	δ	E^0 (В)
Кобальт		
$\text{Co}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Co}$	+2	-0,277
$\text{Co}(\text{OH})_2 + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Co} + 2\text{OH}^-$	+2	-0,733
$\text{CoCO}_{3(\text{тв})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Co} + \text{CO}_3^{2-}$	+2	-0,58
$[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Co} + 6\text{NH}_{3(\text{водн})}$	+2	-0,42
$\text{CoS} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Co} + \text{S}^{2-}$	+2	-0,89
$\text{Co}^{3+} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Co}^{2+}$	+3	+1,95
$\text{Co}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Co}$	+3	+0,46
$\text{Co}(\text{OH})_3 + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Co}(\text{OH})_2 + \text{OH}^-$	+3	+0,17
$[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+} + \bar{e} \rightleftharpoons [\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$	+3	+0,1
$[\text{Co}(\text{CN})_6]^{3-} + \bar{e} \rightleftharpoons [\text{Co}(\text{CN})_6]^{4-}$	+3	-0,83
Кремний		
$\text{SiO}_2 + 4\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Si} + 2\text{H}_2\text{O}$	+4	-0,86
$\text{H}_4\text{SiO}_4 + 4\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Si} + 4\text{H}_2\text{O}$	+4	-0,848
$\text{H}_2\text{SiO}_{3(\text{тв})} + 4\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Si} + 3\text{H}_2\text{O}$	+4	-0,807
$\text{H}_2\text{SiO}_{3(\text{водн})} + 4\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Si} + 3\text{H}_2\text{O}$	+4	-0,79
$\text{SiO}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O} + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Si} + 6\text{OH}^-$	+4	-1,69
$[\text{SiF}_6]^{2-} + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Si} + 6\text{F}^-$	+4	-1,37
Лантан и лантаноиды		
$\text{La}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{La}$	+3	-2,522
$\text{Ce}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ce}$	+3	-2,483
$\text{Ce}^{4+} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Ce}^{3+}$	+4	+1,72
$[\text{Ce}(\text{SO}_4)_3]^{2-} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Ce}^{3+} + 3\text{SO}_4^{2-}$	+4	+1,44
$\text{Pr}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Pr}$	+3	-2,462
$\text{Nd}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Nd}$	+3	-2,431
$\text{Pm}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Pm}$	+3	-2,423
$\text{Sm}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Sm}$	+3	-2,414



ОВ полуреакции	δ	E^0 (В)
$\text{Eu}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Eu}$	+2	-2,8
$\text{Eu}^{3+} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Eu}^{2+}$	+3	-0,35
$\text{Eu}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Eu}$	+3	-2,407
$\text{Gd}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Gd}$	+3	-2,397
$\text{Tb}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Tb}$	+3	-2,391
$\text{Dy}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Dy}$	+3	-2,353
$\text{Ho}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ho}$	+3	-2,319
$\text{Er}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Er}$	+3	-2,296
$\text{Tm}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Tm}$	+3	-2,278
$\text{Yb}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Yb}$	+2	-2,8
$\text{Yb}^{3+} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Yb}^{2+}$	+3	-1,05
$\text{Yb}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Yb}$	+3	-2,267
$\text{Lu}^{3+} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Lu}$	+3	-2,255
Литий		
$\text{Li}^+ + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Li}$	+1	-3,04
Магний		
$\text{Mg}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Mg}$	+2	-2,356
Марганец		
$\text{Mn}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Mn}$	+2	-1,18
$\text{Mn}(\text{OH})_{2(\text{тв})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Mn} + 2\text{OH}^-$	+2	-1,56
$\text{MnCO}_{3(\text{тв})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Mn} + \text{CO}_3^{2-}$	+2	-1,48
$\text{Mn}^{3+} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+}$	+3	+1,51
$\text{Mn}(\text{OH})_{3(\text{тв})} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Mn}(\text{OH})_{2(\text{тв})} + \text{OH}^-$	+3	+0,1
$\text{Mn}(\text{OH})_{3(\text{тв})} + 3\text{H}^+ + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+} + 3\text{H}_2\text{O}$	+3	+1,84
$\text{Mn}_2\text{O}_{3(\text{тв})} + 3\text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Mn}(\text{OH})_{2(\text{тв})} + 2\text{OH}^-$	+3	-0,25
$\text{Mn}_2\text{O}_{3(\text{тв})} + 6\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Mn}^{2+} + 3\text{H}_2\text{O}$	+3	+1,48
$\text{Mn}_3\text{O}_{4(\text{тв})} + 8\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	+8/3	+1,75



ОВ полуреакции	δ	E^0 (В)
$\text{Mn}^{4+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+}$	+4	+1,84
$\text{MnO}_{2(\text{тв})} + 4\text{H}^+ + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Mn}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$	+4	+0,95
$\text{MnO}_{2(\text{тв})} + 4\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	+4	+1,23
$\text{MnO}_{2(\text{тв})} + 2\text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Mn}(\text{OH})_{2(\text{тв})} + 2\text{OH}^-$	+4	-0,05
$2\text{MnO}_{2(\text{тв})} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Mn}_2\text{O}_{3(\text{тв})} + \text{H}_2\text{O}$	+4	+0,98
$2\text{MnO}_{2(\text{тв})} + \text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Mn}_2\text{O}_{3(\text{тв})} + 2\text{OH}^-$	+4	+0,15
$\text{MnO}_{2(\text{тв})} + \text{H}_2\text{O} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{MnOOH}_{(\text{тв})} + \text{OH}^-$	+4	+0,19
$\text{MnO}_4^{3-} + 8\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Mn}^{3+} + 4\text{H}_2\text{O}$	+5	+0,95
$\text{MnO}_4^{3-} + 2\text{H}_2\text{O} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{MnO}_{2(\text{тв})} + 4\text{OH}^-$	+5	+0,96
$\text{MnO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{MnO}_{2(\text{тв})} + 2\text{H}_2\text{O}$	+6	+2,27
$\text{MnO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{MnO}_{2(\text{тв})} + 4\text{OH}^-$	+6	+0,62
$\text{MnO}_4^- + \bar{e} \rightleftharpoons \text{MnO}_4^{2-}$	+7	+0,558
$\text{MnO}_4^- + 4\text{H}^+ + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{MnO}_{2(\text{тв})} + 2\text{H}_2\text{O}$	+7	+1,69
$\text{MnO}_4^- + 2\text{H}_2\text{O} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{MnO}_{2(\text{тв})} + 4\text{OH}^-$	+7	+0,6
$\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5\bar{e} \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	+7	+1,51
$\text{MnO}_4^- + 4\text{H}_2\text{O} + 5\bar{e} \rightleftharpoons \text{Mn}(\text{OH})_{2(\text{тв})} + 6\text{OH}^-$	+7	+0,34
Медь		
$\text{Cu}^+ + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Cu}$	+1	+0,52
$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]^- + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Cu} + 2\text{NH}_3$	+1	-0,2
$\text{CuCl}_{(\text{тв})} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Cu} + \text{Cl}^-$	+1	+0,121
$\text{CuBr}_{(\text{тв})} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Cu} + \text{Br}^-$	+1	+0,033
$\text{CuI}_{(\text{тв})} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Cu} + \text{I}^-$	+1	-0,182
$[\text{CuCl}_2]^- + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Cu} + 2\text{Cl}^-$	+1	+0,19
$[\text{CuBr}_2]^- + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Cu} + 2\text{Br}^-$	+1	+0,033
$[\text{CuI}_2]^- + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Cu} + 2\text{I}^-$	+1	0
$\text{CuSCN}_{(\text{тв})} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Cu} + \text{SCN}^-$	+1	-0,31
$\text{Cu}_2\text{O}_{(\text{тв})} + \text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Cu} + 2\text{OH}^-$	+1	-0,365



ОВ полуреакции	δ	E^0 (В)
$\text{Cu}_2\text{O}_{(\text{тв})} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Cu} + \text{H}_2\text{O}$	+1	+0,471
$\text{Cu}_2\text{S}_{(\text{тв})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Cu} + \text{S}^{2-}$	+1	-0,898
$[\text{Cu}(\text{CN})_2]^- + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Cu} + 2\text{CN}^-$	+1	-0,44
$\text{Cu}^{2+} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Cu}^+$	+2	+0,15
$\text{Cu}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cu}$	+2	+0,34
$\text{Cu}^{2+} + \text{Cl}^- + \bar{e} \rightleftharpoons \text{CuCl}_{(\text{тв})}$	+2	+0,559
$\text{Cu}^{2+} + \text{I}^- + \bar{e} \rightleftharpoons \text{CuI}_{(\text{тв})}$	+2	+0,654
$\text{Cu}^{2+} + \text{Br}^- + \bar{e} \rightleftharpoons \text{CuBr}_{(\text{тв})}$	+2	+0,861
$\text{Cu}^{2+} + \text{SCN}^- + \bar{e} \rightleftharpoons \text{CuSCN}_{(\text{тв})}$	+2	+0,96
$\text{Cu}^{2+} + 2\text{SCN}^- + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Cu}(\text{SCN})_2$	+2	+1,12
$\text{Cu}^{2+} + \text{CN}^- + \bar{e} \rightleftharpoons \text{CuCN}_{(\text{тв})}$	+2	+1,12
$2\text{Cu}^{2+} + \text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cu}_2\text{O} + 2\text{H}^+$	+2	+0,203
$\text{CuCO}_3_{(\text{тв})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cu} + \text{CO}_3^{2-}$	+2	+0,053
$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+} + \bar{e} \rightleftharpoons [\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]^+ + 2\text{NH}_3$	+2	+0,1
$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cu} + 4\text{NH}_3_{(\text{водн})}$	+2	-0,07
$2\text{Cu}(\text{OH})_{2(\text{тв})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cu}_2\text{O} + 2\text{OH}^- + \text{H}_2\text{O}$	+2	-0,08
$\text{Cu}(\text{OH})_{2(\text{тв})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cu} + 2\text{OH}^-$	+2	-0,22
$2\text{CuO}_{(\text{тв})} + \text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cu}_2\text{O} + 2\text{OH}^-$	+2	-0,22
$\text{CuO}_{(\text{тв})} + \text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cu} + 2\text{OH}^-$	+2	-0,29
$\text{CuO} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cu} + \text{H}_2\text{O}$	+2	+0,57
$2\text{CuO} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cu}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$	+2	+0,669
$[\text{Cu}(\text{SCN})]^+ + \bar{e} \rightleftharpoons \text{CuSCN}_{(\text{тв})}$	+2	+0,854
$\text{CuS} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cu} + \text{S}^{2-}$	+2	-0,7
$2\text{CuS} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cu}_2\text{S} + \text{S}^{2-}$	+2	-0,542
$\text{CuS} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cu} + \text{H}_2\text{S}_{(\text{водн})}$	+2	-0,259
$\text{Cu}^{3+} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Cu}^{2+}$	+3	+1,8
$[\text{Cu}(\text{OH})_4]^- + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Cu}(\text{OH})_{2(\text{тв})} + 2\text{OH}^-$	+3	+0,8



ОВ полуреакции	δ	E^0 (В)
Молибден		
$\text{MoO}_2 + 4\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Mo} + 2\text{H}_2\text{O}$	+4	-0,152
$\text{MoO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Mo} + 4\text{OH}^-$	+4	-0,98
$\text{H}_2\text{MoO}_{4(\text{водн})} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{MoO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	+6	+0,39
$\text{H}_2\text{MoO}_{4(\text{тв})} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{MoO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	+6	-1,091
$\text{H}_2\text{MoO}_4 + 6\text{H}^+ + 6\bar{e} \rightleftharpoons \text{Mo} + 4\text{H}_2\text{O}$	+6	+0,114
$\text{MoO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{MoO}_2 + 4\text{OH}^-$	+6	-0,78
$\text{MoO}_4^{2-} + 4\text{H}_2\text{O} + 6\bar{e} \rightleftharpoons \text{Mo} + 8\text{OH}^-$	+6	-0,913
Мышьяк		
$\text{As} + 3\text{H}^+ + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{AsH}_3$	0	-0,225
$\text{As} + 3\text{H}_2\text{O} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{AsH}_{3(\text{газ})} + 3\text{OH}^-$	0	-1,37
$\text{H}_3\text{AsO}_3 + 3\text{H}^+ + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{As} + 3\text{H}_2\text{O}$	+3	+0,24
$\text{AsO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{As} + 4\text{OH}^-$	+3	-0,68
$\text{AsS}_2 + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{As} + 2\text{S}^{2-}$	+3	-0,75
$\text{H}_3\text{AsO}_4 + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{AsO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	+5	+0,559
$2\text{H}_3\text{AsO}_4 + 4\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{As}_2\text{O}_3 + 5\text{H}_2\text{O}$	+5	+0,58
$\text{AsO}_4^{3-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{AsO}_2^- + 4\text{OH}^-$	+5	-0,67
$\text{H}_3\text{AsO}_4 + 5\text{H}^+ + 5\bar{e} \rightleftharpoons \text{As} + 4\text{H}_2\text{O}$	+5	+ 0,368
$\text{AsO}_4^{3-} + 4\text{H}_2\text{O} + 5\bar{e} \rightleftharpoons \text{As} + 8\text{OH}^-$	+5	-0,68
Натрий		
$\text{Na}^+ + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Na}$	+1	-2,713
Никель		
$\text{Ni}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ni}$	+2	-0,257
$\text{Ni}(\text{OH})_{2(\text{тв})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ni} + 2\text{OH}^-$	+2	-0,72
$[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ni} + 6\text{NH}_{3(\text{водн})}$	+2	-0,476
$\text{NiCO}_3 + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ni} + \text{CO}_3^{2-}$	+2	+0,45
$\text{NiS} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ni} + \text{S}^{2-}$	+2	-0,814



ОВ полуреакции	δ	E^0 (В)
$\text{NiS}_2\text{O}_3 + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ni} + \text{S}_2\text{O}_3^{2-}$	+2	-0,372
$\text{Ni}(\text{OH})_3 + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Ni}(\text{OH})_2 + \text{OH}^-$	+3	+0,48
$[\text{Ni}(\text{CN})_6]^{3-} + \bar{e} \rightleftharpoons [\text{Ni}(\text{CN})_6]^{4-}$	+3	+0,82
$\text{NiO}_2 + 4\text{H}^+ + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Ni}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	+4	+1,593
Ниобий		
$\text{Nb}_2\text{O}_5 + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{NbO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	+5	-0,289
$\text{Nb}_2\text{O}_5 + 10\text{H}^+ + 10\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Nb} + 5\text{H}_2\text{O}$	+5	-0,65
Олово		
$\text{Sn}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Sn}$	+2	-0,14
$\text{SnO} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Sn} + \text{H}_2\text{O}$	+2	-0,104
$[\text{Sn}(\text{OH})_3]^- + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Sn} + 3\text{OH}^-$	+2	-0,91
$\text{Sn}_3(\text{PO}_4)_{2(\text{тв})} + 6\bar{e} \rightleftharpoons 3\text{Sn} + 2\text{PO}_4^{3-}$	+2	-0,865
$\text{SnS} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Sn} + \text{S}^{2-}$	+2	-0,94
$[\text{SnCl}_4]^{2-} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Sn} + 4\text{Cl}^-$	+2	-0,19
$\text{Sn}^{4+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Sn}^{2+}$	+4	+0,15
$\text{Sn}^{4+} + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Sn}$	+4	+0,013
$\text{Sn}(\text{OH})_4 + 4\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Sn} + 4\text{H}_2\text{O}$	+4	-0,008
$[\text{Sn}(\text{OH})_6]^{2-} + 2\bar{e} \rightleftharpoons [\text{Sn}(\text{OH})_3]^- + 3\text{OH}^-$	+4	-0,93
$\text{SnO}_{2(\text{тв})} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{SnO}_{(\text{тв})} + \text{H}_2\text{O}$	+4	+0,088
$[\text{SnF}_6]^{2-} + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Sn} + 6\text{F}^-$	+4	-0,2
$\text{SnS}_3^{2-} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{SnS} + 2\text{S}^{2-}$	+4	-0,6
Осмий		
$\text{Os}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Os}$	+2	+0,85
$[\text{OsCl}_6]^{3-} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Os} + 6\text{Cl}^-$	+3	+0,71
$\text{OsO}_{2(\text{тв})} + 4\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Os} + 2\text{H}_2\text{O}$	+4	+0,687
$\text{OsO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Os} + 4\text{OH}^-$	+4	-0,15
$\text{OsO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{тв})} + 4\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Os} + 4\text{H}_2\text{O}$	+4	+0,72



ОВ полуреакции	δ	E^0 (В)
$[\text{OsCl}_6]^{2-} + \bar{e} \rightleftharpoons [\text{OsCl}_6]^{3-}$	+4	+0,85
$[\text{OsBr}_6]^{2-} + \bar{e} \rightleftharpoons [\text{OsBr}_6]^{3-}$	+4	+0,45
$\text{OsO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{OsO}_2 + 4\text{OH}^-$	+6	+0,1
$\text{OsO}_{4(\text{ТВ})} + 4\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{OsO}_{2(\text{ТВ})} + 2\text{H}_2\text{O}$	+8	+1,005
$\text{OsO}_{4(\text{ТВ})} + 8\text{H}^+ + 8\bar{e} \rightleftharpoons \text{Os} + 4\text{H}_2\text{O}$	+8	+0,85
$\text{OsO}_{4(\text{ТВ})} + 6\text{Cl}^- + 8\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{OsCl}_6^{2-} + 4\text{H}_2\text{O}$	+8	+1
$[\text{OsO}_4(\text{OH})_2]^{2-} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{OsO}_4^{2-} + 2\text{OH}^-$	+8	+0,3
$[\text{OsO}_4(\text{OH})_2]^{2-} + 4\text{H}_2\text{O} + 8\bar{e} \rightleftharpoons \text{Os} + 10\text{OH}^-$	+8	+0,02
$[\text{OsO}_4(\text{OH})_2]^{2-} + 4\text{H}_2\text{O} + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{OsO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 6\text{OH}^-$	+8	+0,1
Палладий		
$\text{Pd}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Pd}$	+2	+0,915
$\text{Pd}(\text{OH})_{2(\text{ТВ})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Pd} + 2\text{OH}^-$	+2	+0,07
$[\text{PdCl}_4]^{2-} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Pd} + 4\text{Cl}^-$	+2	+0,623
$[\text{PdBr}_4]^{2-} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Pd} + 4\text{Br}^-$	+2	+0,6
$[\text{PdI}_4]^{2-} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Pd} + 4\text{I}^-$	+2	+0,18
$\text{Pd}(\text{OH})_{4(\text{ТВ})} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Pd}(\text{OH})_{2(\text{ТВ})} + 2\text{H}_2\text{O}$	+4	+1,258
$\text{Pd}(\text{OH})_{4(\text{ТВ})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Pd}(\text{OH})_{2(\text{ТВ})} + 2\text{OH}^-$	+4	+0,73
$\text{Pd}(\text{OH})_{4(\text{ТВ})} + 4\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Pd}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	+4	+1,128
$[\text{PdCl}_6]^{2-} + 2\bar{e} \rightleftharpoons [\text{PdCl}_4]^{2-} + 2\text{Cl}^-$	+4	+1,47
$[\text{PdBr}_6]^{2-} + 2\bar{e} \rightleftharpoons [\text{PdBr}_4]^{2-} + 2\text{Br}^-$	+4	+0,993
$[\text{PdI}_6]^{2-} + 2\bar{e} \rightleftharpoons [\text{PdI}_4]^{2-} + 2\text{I}^-$	+4	+0,482
$[\text{PdCl}_6]^{2-} + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Pd} + 6\text{Cl}^-$	+4	+0,96
Платина		
$\text{Pt}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Pt}$	+2	+1,188
$\text{Pt}(\text{OH})_{2(\text{ТВ})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Pt} + 2\text{OH}^-$	+2	+0,15
$\text{PtS}_{(\text{ТВ})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Pt} + \text{S}^{2-}$	+2	-0,95
$\text{PtS}_{(\text{ТВ})} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Pt} + \text{H}_2\text{S}_{(\text{водн})}$	+2	-0,327



ОВ полуреакции	δ	E^0 (В)
$\text{PtS}_{(\text{тв})} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Pt} + \text{H}_2\text{S}_{(\text{газ})}$	+2	-0,297
$[\text{PtCl}_4]^{2-} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Pt} + 4\text{Cl}^-$	+2	+0,758
$[\text{PtBr}_4]^{2-} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Pt} + 4\text{Br}^-$	+2	+0,698
$\text{PtO}_{2(\text{тв})} + 4\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Pt}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	+4	+0,837
$[\text{PtBr}_6]^{2-} + 2\bar{e} \rightleftharpoons [\text{PtBr}_4]^{2-} + 2\text{Br}^-$	+4	+0,59
$[\text{PtI}_6]^{2-} + 2\bar{e} \rightleftharpoons [\text{PtI}_4]^{2-} + 2\text{I}^-$	+4	+0,393
$[\text{Pt}(\text{SCN})_6]^{2-} + 2\bar{e} \rightleftharpoons [\text{Pt}(\text{SCN})_4]^{2-} + 2\text{SCN}^-$	+4	+0,468
$[\text{PtCl}_6]^{2-} + 2\bar{e} \rightleftharpoons [\text{PtCl}_4]^{2-} + 2\text{Cl}^-$	+4	+0,726
$[\text{PtCl}_6]^{2-} + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Pt} + 6\text{Cl}^-$	+4	+0,744
$[\text{Pt}(\text{OH})_6]^{2-} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Pt}(\text{OH})_2 + 4\text{OH}^-$	+4	$\approx +0,1$
$\text{PtS}_{2(\text{тв})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{PtS}_{(\text{тв})} + \text{S}^{2-}$	+4	-0,64
$\text{PtO}_{3(\text{тв})} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{PtO}_{2(\text{тв})} + \text{H}_2\text{O}$	+6	+2
$\text{PtO}_4^{2-} + 4\text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons [\text{Pt}(\text{OH})_6]^{2-} + 2\text{OH}^-$	+6	+0,4
Рений		
$\text{Re}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Re}$	+3	-0,18
$\text{ReO}_{2(\text{тв})} + 4\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Re} + 2\text{H}_2\text{O}$	+4	+0,26
$[\text{ReCl}_6]^{2-} + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Re} + 6\text{Cl}^-$	+4	+0,51
$\text{ReO}_{3(\text{тв})} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{ReO}_{2(\text{тв})} + \text{H}_2\text{O}$	+6	+0,4
$\text{ReO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{ReO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	+6	-0,5
$\text{ReO}_4^- + 2\text{H}^+ + \bar{e} \rightleftharpoons \text{ReO}_{3(\text{тв})} + \text{H}_2\text{O}$	+7	+0,768
$\text{ReO}_4^- + \bar{e} \rightleftharpoons \text{ReO}_4^{2-}$	+7	+0,7
$\text{ReO}_4^- + \text{H}_2\text{O} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{ReO}_{3(\text{тв})} + 2\text{OH}^-$	+7	+0,89
$\text{ReO}_4^- + 4\text{H}^+ + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{ReO}_{2(\text{тв})} + \text{H}_2\text{O}$	+7	+0,51
$\text{ReO}_4^- + 4\text{H}_2\text{O} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{ReO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{OH}^-$	+7	-0,594
$\text{ReO}_4^- + 8\text{H}^+ + 7\bar{e} \rightleftharpoons \text{Re} + 4\text{H}_2\text{O}$	+7	+0,34
$\text{ReO}_4^- + 4\text{H}_2\text{O} + 7\bar{e} \rightleftharpoons \text{Re} + 8\text{OH}^-$	+7	-0,604
$\text{ReO}_4^- + 8\text{H}^+ + 6\text{Cl}^- + 3\bar{e} \rightleftharpoons [\text{ReCl}_6]^{2-} + 4\text{H}_2\text{O}$	+7	+0,12



ОВ полуреакции	δ	E^0 (В)
Родий		
$\text{Rh}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Rh}$	+3	+0,76
$\text{Rh}(\text{OH})_{3(\text{тв})} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Rh} + 3\text{OH}^-$	+3	0
$\text{Rh}_2\text{O}_{3(\text{тв})} + 6\text{H}^+ + 6\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Rh} + 3\text{H}_2\text{O}$	+3	+0,88
$[\text{RhCl}_6]^{3-} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Rh} + 6\text{Cl}^-$	+3	+0,5
$[\text{Rh}(\text{CN})_6]^{3-} + \bar{e} \rightleftharpoons [\text{Rh}(\text{CN})_6]^{4-}$	+3	+0,9
$\text{RhO}_{2(\text{тв})} + 4\text{H}^+ + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Rh}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$	+4	+1,881
$\text{RhO}_{2(\text{тв})} + 4\text{H}^+ + 6\text{Cl}^- + \bar{e} \rightleftharpoons [\text{RhCl}_6]^{3-} + 2\text{H}_2\text{O}$	+4	+1,4
$2\text{RhO}_{2(\text{тв})} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Rh}_2\text{O}_{3(\text{тв})} + \text{H}_2\text{O}$	+4	+1,73
$[\text{RhCl}_6]^{2-} + \bar{e} \rightleftharpoons [\text{RhCl}_6]^{3-}$	+4	+1,2
$\text{RhO}_4^{2-} + 4\text{H}_2\text{O} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Rh}(\text{OH})_{3(\text{тв})} + 5\text{OH}^-$	+6	-0,1
$\text{RhO}_4^{2-} + 8\text{H}^+ + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Rh}^{3+} + 4\text{H}_2\text{O}$	+6	+1,5
$\text{RhO}_4^{2-} + 8\text{H}^+ + 6\bar{e} \rightleftharpoons \text{Rh} + 4\text{H}_2\text{O}$	+6	+1,1
$\text{RhO}_4^{2-} + 6\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{RhO}^{2+} + 3\text{H}_2\text{O}$	+6	+1,46
Ртуть		
$\text{Hg}_2^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Hg}$	+1	+0,796
$\text{Hg}_2\text{F}_{2(\text{тв})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Hg} + 2\text{F}^-$	+1	+0,6562
$\text{Hg}_2\text{Cl}_{2(\text{тв})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Hg} + 2\text{Cl}^-$	+1	+0,2682
$\text{Hg}_2\text{Br}_{2(\text{тв})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Hg} + 2\text{Br}^-$	+1	+0,1392
$\text{Hg}_2\text{I}_{2(\text{тв})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Hg} + 2\text{I}^-$	+1	-0,0405
$\text{Hg}_2\text{O}_{(\text{тв})} + \text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Hg} + 2\text{OH}^-$	+1	+0,123
$\text{Hg}_2(\text{SCN})_{2(\text{тв})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Hg} + 2\text{SCN}^-$	+1	+0,22
$\text{Hg}_2(\text{CH}_3\text{COO})_{2(\text{тв})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Hg} + 2\text{CH}_3\text{COO}^-$	+1	+0,5113
$2\text{Hg}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Hg}_2^{2+}$	+2	+0,911
$\text{Hg}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Hg}$	+2	+0,8534
$\text{HgO}_{(\text{тв})} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Hg} + \text{H}_2\text{O}$	+2	+0,9256
$\text{HgO}_{(\text{тв})} + \text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Hg} + 2\text{OH}^-$	+2	+0,0977



ОВ полуреакции	δ	E^0 (В)
$\text{HgS}_{(\text{черный})} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Hg} + \text{H}_2\text{S}$	+2	-0,085
$\text{HgS}_{(\text{черный})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Hg} + \text{S}^{2-}$	+2	-0,67
$[\text{Hg}(\text{CN})_4]^{2-} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Hg} + 4\text{CN}^-$	+2	-0,37
$2\text{HgCl}_{2(\text{тв})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Hg}_2\text{Cl}_{2(\text{тв})} + 2\text{Cl}^-$	+2	+0,62
$[\text{HgCl}_4]^{2-} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Hg} + 4\text{Cl}^-$	+2	+0,38
$[\text{HgBr}_4]^{2-} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Hg} + 4\text{Br}^-$	+2	+0,223
$[\text{HgI}_4]^{2-} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Hg} + 4\text{I}^-$	+2	-0,038
Рубидий		
$\text{Rb}^+ + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Rb}$	+1	-2,924
Рутений		
$\text{Ru}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ru}$	+3	+0,38
$\text{RuCl}_3 + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ru} + 3\text{Cl}^-$	+3	+0,68
$\text{RuO}_{2(\text{тв})} + 2\text{H}_2\text{O} + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ru} + 4\text{OH}^-$	+4	-0,04
$\text{RuO}_{2(\text{тв})} + 4\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ru} + 2\text{H}_2\text{O}$	+4	+0,68
$\text{RuO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{RuO}_{2(\text{тв})} + 2\text{H}_2\text{O}$	+6	+2,005
$\text{RuO}_{4(\text{тв})} + 4\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{RuO}_{2(\text{тв})} + 2\text{H}_2\text{O}$	+8	+1,387
$\text{RuO}_{4(\text{тв})} + 8\text{H}^+ + 8\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ru} + 4\text{H}_2\text{O}$	+8	+1,04
Свинец		
$\text{Pb}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Pb}$	+2	-0,1251
$\text{PbO}_{(\text{красный})} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Pb} + \text{H}_2\text{O}$	+2	+0,25
$\text{PbO}_{(\text{красный})} + \text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Pb} + 2\text{OH}^-$	+2	-0,58
$\text{Pb}(\text{OH})_{2(\text{тв})} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Pb} + 2\text{H}_2\text{O}$	+2	+0,277
$[\text{Pb}(\text{OH})_4]^{2-} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Pb} + 4\text{OH}^-$	+2	-0,502
$\text{PbF}_{2(\text{тв})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Pb} + 2\text{F}^-$	+2	-0,35
$\text{PbCl}_{2(\text{тв})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Pb} + 2\text{Cl}^-$	+2	-0,226
$\text{PbBr}_{2(\text{тв})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Pb} + 2\text{Br}^-$	+2	-0,28
$\text{PbI}_{2(\text{тв})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Pb} + 2\text{I}^-$	+2	-0,365



ОВ полуреакции	δ	E^0 (В)
$\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_{2(\text{тв})} + 6\bar{e} \rightleftharpoons 3\text{Pb} + 2\text{PO}_4^{3-}$	+2	-0,54 (30 °C)
$\text{PbSO}_{4(\text{тв})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Pb} + \text{SO}_4^{2-}$	+2	-0,3505
$\text{PbCO}_{3(\text{тв})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Pb} + \text{CO}_3^{2-}$	+2	-0,509
$\text{PbS}_{(\text{тв})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Pb} + \text{S}^{2-}$	+2	-0,93
$\text{Pb}_3\text{O}_{4(\text{тв})} + \text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 3\text{PbO}_{(\text{тв})} + 2\text{OH}^-$	+8/3	+0,25
$\text{Pb}_3\text{O}_{4(\text{тв})} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons 3\text{PbO}_{(\text{тв})} + \text{H}_2\text{O}$	+8/3	+0,972
$\text{Pb}^{4+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+}$	+4	+1,69
$\text{Pb}^{4+} + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Pb}$	+4	+0,77
$\text{PbO}_{2(\text{тв})} + 4\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	+4	+1,468
$\text{PbO}_{2(\text{тв})} + 4\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Pb} + 2\text{H}_2\text{O}$	+4	+0,666
$\text{PbO}_{2(\text{тв})} + \text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{PbO}_{(\text{тв})} + 2\text{OH}^-$	+4	+0,248
$\text{PbO}_{2(\text{тв})} + \text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{PbSO}_{4(\text{тв})} + 2\text{H}_2\text{O}$	+4	+1,698
$[\text{Pb}(\text{OH})_6]^{2-} + 2\bar{e} \rightleftharpoons [\text{Pb}(\text{OH})_4]^{2-} + 2\text{OH}^-$	+4	+0,2
$[\text{Pb}(\text{OH})_6]^{2-} + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Pb} + 6\text{OH}^-$	+4	-0,127
Селен		
$\text{Se} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{Se}_{(\text{газ})}$	0	-0,082
$\text{Se} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{Se}_{(\text{водн})}$	0	-0,115
$\text{Se} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Se}^{2-}$	0	-0,67
$\text{H}_2\text{SeO}_3 + 6\text{H}^+ + 6\bar{e} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{Se} + 3\text{H}_2\text{O}$	+4	+0,36
$\text{H}_2\text{SeO}_3 + 4\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Se} + 3\text{H}_2\text{O}$	+4	+0,739
$\text{SeO}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O} + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Se} + 6\text{OH}^-$	+4	-0,357
$\text{SeO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{SeO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	+6	+1,151
$\text{SeO}_4^{2-} + 8\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Se} + 4\text{H}_2\text{O}$	+6	+0,88
$\text{SeO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{SeO}_3^{2-} + 2\text{OH}^-$	+6	+0,031
Сера		
$\text{S}_2^{2-} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{S}^{2-}$	-1	-0,483
$(\text{SCN})_{2(\text{газ})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{SCN}^-$	-1	+0,77



ОВ полуреакции	δ	E^0 (В)
$S + H_2O + 2\bar{e} \rightleftharpoons HS^- + OH^-$	0	-0,476
$S + 2H^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons H_2S_{(газ)}$	0	+0,174
$S + 2H^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons H_2S_{(водн)}$	0	+0,144
$S + 2\bar{e} \rightleftharpoons S^{2-}$	0	-0,447
$2S + 2\bar{e} \rightleftharpoons S_2^{2-}$	0	-0,476
$S_2O_3^{2-} + 10H^+ + 8\bar{e} \rightleftharpoons 2H_2S + 3H_2O$	+2	+0,372
$S_2O_3^{2-} + 6H^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons 2S + 3H_2O$	+2	+0,600
$S_4O_6^{2-} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2S_2O_3^{2-}$	+2,5	+0,08
$S_4O_6^{2-} + 12H^+ + 10\bar{e} \rightleftharpoons 4S + 6H_2O$	+2,5	+0,416
$H_2SO_3 + 4H^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons S + 3H_2O$	+4	+0,5
$2H_2SO_3 + 2H^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons S_2O_3^{2-} + 3H_2O$	+4	+0,4
$4H_2SO_3 + 4H^+ + 6\bar{e} \rightleftharpoons S_4O_6^{2-} + 6H_2O$	+4	+0,507
$SO_3^{2-} + 3H_2O + 4\bar{e} \rightleftharpoons S + 6OH^-$	+4	-0,659
$H_2SO_3 + 6H^+ + 6\bar{e} \rightleftharpoons H_2S + 3H_2O$	+4	+0,381
$2H_2SO_3 + 2H^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons S_2O_3^{2-} + 3H_2O$	+4	+0,400
$2SO_3^{2-} + 3H_2O + 4\bar{e} \rightleftharpoons S_2O_3^{2-} + 6OH^-$	+4	-0,576
$SO_{2(газ)} + 4H^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons S + 2H_2O$	+4	-0,659
$4SO_{2(газ)} + 4H^+ + 6\bar{e} \rightleftharpoons S_4O_6^{2-} + 2H_2O$	+4	+0,511
$SO_4^{2-} + 4H^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons SO_{2(r)} + 2H_2O$	+6	+0,138
$SO_4^{2-} + 4H^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons H_2SO_3 + H_2O$	+6	+0,158
$SO_4^{2-} + H_2O + 2\bar{e} \rightleftharpoons SO_3^{2-} + 2OH^-$	+6	-0,936
$SO_4^{2-} + 8H^+ + 6\bar{e} \rightleftharpoons S + 4H_2O$	+6	+0,357
$SO_4^{2-} + 10H^+ + 8\bar{e} \rightleftharpoons H_2S_{(r)} + 4H_2O$	+6	+0,311
$SO_4^{2-} + 10H^+ + 8\bar{e} \rightleftharpoons H_2S_{(водн)} + 4H_2O$	+6	+0,303
$2SO_4^{2-} + 10H^+ + 8\bar{e} \rightleftharpoons S_2O_3^{2-} + 5H_2O$	+6	+0,29
$SF_{6(газ)} + 6\bar{e} \rightleftharpoons S + 6F^-$	+6	+0,97



ОВ полуреакции	δ	E^0 (В)
Серебро		
$\text{Ag}^+ + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Ag}$	+1	+0,7991
$\text{AgCl}_{(\text{тв})} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Ag} + \text{Cl}^-$	+1	+0,2223
$\text{AgBr}_{(\text{тв})} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Ag} + \text{Br}^-$	+1	+0,0711
$\text{AgI}_{(\text{тв})} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Ag} + \text{I}^-$	+1	-0,1522
$\text{AgF}_{(\text{тв})} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Ag} + \text{F}^-$	+1	+0,779
$\text{AgCN}_{(\text{тв})} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Ag} + \text{CN}^-$	+1	-0,017
$\text{AgClO}_{4(\text{тв})} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Ag} + \text{ClO}_4^-$	+1	+0,787
$\text{AgSCN}_{(\text{тв})} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Ag} + \text{SCN}^-$	+1	+0,0895
$\text{Ag}_2\text{S}_{(\text{тв})} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Ag} + \text{S}^{2-}$	+1	-0,691
$\text{AgBrO}_{3(\text{тв})} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Ag} + \text{BrO}_3^-$	+1	+0,546
$\text{AgIO}_{3(\text{тв})} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Ag} + \text{IO}_3^-$	+1	+0,354
$\text{AgNCO}_{(\text{тв})} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Ag} + \text{NCO}^-$	+1	+0,41
$\text{Ag}_3\text{PO}_{4(\text{тв})} + 3\bar{e} \rightleftharpoons 3\text{Ag} + \text{PO}_4^{3-}$	+1	+0,4525
$\text{Ag}_2\text{CrO}_{4(\text{тв})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Ag} + \text{CrO}_4^{2-}$	+1	+0,4491
$\text{Ag}_2\text{SeO}_{3(\text{тв})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Ag} + \text{SeO}_3^{2-}$	+1	+0,363
$\text{Ag}_2\text{SeO}_{4(\text{тв})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Ag} + \text{SeO}_4^{2-}$	+1	+0,55
$\text{Ag}_2\text{CO}_{3(\text{тв})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Ag} + \text{CO}_3^{2-}$	+1	+0,47
$\text{Ag}_2\text{C}_2\text{O}_{4(\text{тв})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Ag} + \text{C}_2\text{O}_4^{2-}$	+1	+0,4647
$\text{Ag}_3\text{AsO}_{4(\text{тв})} + 3\bar{e} \rightleftharpoons 3\text{Ag} + \text{AsO}_4^{3-}$	+1	+0,401
$\text{AgNO}_{2(\text{тв})} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Ag} + \text{NO}_2^-$	+1	+0,564
$\text{AgCH}_3\text{COO}_{(\text{тв})} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Ag} + \text{CH}_3\text{COO}^-$	+1	+0,643
$\text{Ag}_2\text{SO}_{4(\text{тв})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Ag} + \text{SO}_4^{2-}$	+1	+0,654
$\text{Ag}_2\text{O}_{(\text{тв})} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Ag} + \text{H}_2\text{O}$	+1	+1,173
$\text{Ag}_2\text{O}_{(\text{тв})} + \text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Ag} + 2\text{OH}^-$	+1	+0,342
$[\text{Ag}(\text{CN})_2]^- + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Ag} + 2\text{CN}^-$	+1	-0,31
$[\text{Ag}(\text{SCN})_2]^- + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Ag} + 2\text{SCN}^-$	+1	+0,304



ОВ полуреакции	δ	E^0 (В)
$[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ + 2\text{H}_2\text{O} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Ag} + 2\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	+1	+0,373
$\text{Ag}^{2+} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Ag}^+$	+2	+1,98
$\text{Ag}_2\text{O}_{2(\text{тв})} + 4\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Ag}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$	+2	+1,772
$\text{Ag}_2\text{O}_{2(\text{тв})} + \text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ag}_2\text{O} + 2\text{OH}^-$	+2	+0,604
Скандий		
$\text{Sc}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Sc}$	+3	-2,03
$\text{Sc}(\text{OH})_{3(\text{тв})} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Sc} + 3\text{OH}^-$	+3	-2,60
Стронций		
$\text{Sr}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Sr}$	+2	-2,89
$\text{Sr}(\text{OH})_{2(\text{тв})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Sr} + 2\text{OH}^-$	+2	-2,88
Сурьма		
$\text{Sb} + 3\text{H}^+ + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{SbH}_3$	0	-0,510
$\text{Sb} + 3\text{H}_2\text{O} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{SbH}_{3(\text{г})} + 3\text{OH}^-$	0	-1,338
$\text{SbO}^+ + 2\text{H}^+ + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Sb} + \text{H}_2\text{O}$	+3	+0,204
$[\text{Sb}(\text{OH})_4]^- + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Sb} + 4\text{OH}^-$	+3	-0,639
$\text{SbS}_2^- + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Sb} + 2\text{S}^{2-}$	+3	-0,85
$\text{Sb}_2\text{O}_5 + 4\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Sb}_2\text{O}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$	+5	+0,699
$[\text{Sb}(\text{OH})_6]^- + 2\bar{e} \rightleftharpoons [\text{Sb}(\text{OH})_4]^- + 2\text{OH}^-$	+5	-0,465
$\text{Sb}_2\text{O}_5 + 6\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{SbO}^+ + 3\text{H}_2\text{O}$	+5	+0,58
$\text{SbS}_4^{3-} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{SbS}_3^{3-} + 2\text{S}^{2-}$	+5	-0,6
$[\text{SbCl}_6]^- + 2\bar{e} \rightleftharpoons [\text{SbCl}_4]^- + 2\text{Cl}^-$	+5	+0,746
Таллий		
$\text{Tl}^+ + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Tl}$	+1	-0,3363
$\text{TlOH} + \text{H}^+ + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Tl} + \text{H}_2\text{O}$	+1	+0,778
$\text{TlOH}_{(\text{тв})} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Tl} + \text{OH}^-$	+1	-0,343
$\text{TlCl}_{(\text{тв})} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Tl} + \text{Cl}^-$	+1	-0,5568
$\text{TlBr}_{(\text{тв})} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Tl} + \text{Br}^-$	+1	-0,658



ОВ полуреакции	δ	E^0 (В)
$\text{TlI}_{(\text{тв})} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Tl} + \text{I}^-$	+1	-0,752
$\text{Tl}_2\text{S}_{(\text{тв})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Tl} + \text{S}^{2-}$	+1	-0,9
$\text{Tl}^{3+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Tl}^+$	+3	+1,25
$\text{Tl}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Tl}$	+3	+0,72
$\text{Tl}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O} + 4\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Tl}^+ + 6\text{OH}^-$	+3	+0,02
$\text{Tl}(\text{OH})_{3(\text{тв})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{TlOH}_{(\text{тв})} + 2\text{OH}^-$	+3	-0,05
$\text{TlCl}_{3(\text{тв})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{TlCl} + 2\text{Cl}^-$	+3	+0,89
Тантал		
$\text{Ta}_2\text{O}_5 + 10\text{H}^+ + 10\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Ta} + 5\text{H}_2\text{O}$	+5	-0,81
$\text{TaF}_7^{2-} + 5\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ta} + 7\text{F}^-$	+5	-0,45
Теллур		
$\text{Te} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{Te}_{(\text{газ})}$	0	-0,718
$\text{Te} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Te}^{2-}$	0	-1,143
$\text{Te}^{4+} + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Te}$	4	+0,568
$\text{TeO}_{2(\text{тв, жидк})} + 4\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Te} + 2\text{H}_2\text{O}$	4	+0,604
$\text{H}_2\text{TeO}_3_{(\text{жидк})} + 4\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Te} + 3\text{H}_2\text{O}$	4	+0,589
$\text{TeO}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O} + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Te} + 6\text{OH}^-$	4	-0,415
$[\text{Te}(\text{OH})_6]^{2-} + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Te} + 6\text{OH}^-$	4	-0,412
$\text{TeO}_{3(\text{тв, жидк})} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{TeO}_{2(\text{тв, жидк})} + \text{H}_2\text{O}$	6	+0,85
$\text{H}_2\text{TeO}_4 + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{TeO}_{2(\text{тв, жидк})} + 2\text{H}_2\text{O}$	6	+0,854
$\text{H}_6\text{TeO}_{6(\text{тв})} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{TeO}_{2(\text{тв})} + 4\text{H}_2\text{O}$	6	+1,02
$\text{H}_2\text{TeO}_4 + 6\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Te}^{4+} + 4\text{H}_2\text{O}$	6	+0,93
$\text{TeO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{TeO}_3^{2-} + 2\text{OH}^-$	6	+0,4
Технеций		
$\text{Tc}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Tc}$	+2	+0,4
$\text{Tc}(\text{OH})_{4(\text{тв})} + 4\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Tc} + 4\text{H}_2\text{O}$	+4	+0,294
$\text{TcO}_{3(\text{тв})} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{TcO}_{2(\text{тв})} + \text{H}_2\text{O}$	+6	+0,757



ОВ полуреакции	δ	E^0 (В)
$\text{TcO}_4^- + \bar{e} \rightleftharpoons \text{TcO}_4^{2-}$	+7	-0,569
$\text{TcO}_4^- + 2\text{H}^+ + \bar{e} \rightleftharpoons \text{TcO}_{3(\text{тв})} + \text{H}_2\text{O}$	+7	+0,7
$\text{TcO}_4^- + 4\text{H}^+ + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{TcO}_{2(\text{тв})} + 2\text{H}_2\text{O}$	+7	+0,757
$\text{TcO}_4^- + 8\text{H}^+ + 7\bar{e} \rightleftharpoons \text{Tc} + 4\text{H}_2\text{O}$	+7	+0,472
Титан		
$\text{Ti}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ti}$	+2	-1,63
$\text{Ti}^{3+} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Ti}^{2+}$	+3	-0,369
$\text{Ti}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ti}$	+3	-1,209
$\text{Ti}_2\text{O}_{3(\text{тв})} + 6\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Ti}^{2+} + 3\text{H}_2\text{O}$	+3	-0,478
$\text{Ti}^{4+} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Ti}^{3+}$	+4	-0,04
$\text{Ti}^{4+} + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ti}$	+4	-0,88
$\text{TiO}^{2+} + 2\text{H}^+ + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Ti}^{3+} + \text{H}_2\text{O}$	+4	+0,1
$\text{TiO}^{2+} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ti}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$	+4	-0,135
$\text{TiO}^{2+} + 2\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ti} + \text{H}_2\text{O}$	+4	-0,892
$\text{TiO}_{2(\text{тв})} + 4\text{H}^+ + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Ti}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$	+4	-0,666
$\text{TiO}_{2(\text{тв})} + 4\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ti}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	+4	-0,502
$\text{TiO}_{2(\text{тв})} + 4\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ti} + 2\text{H}_2\text{O}$	+4	-0,86
$\text{TiF}_6^{2-} + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ti} + 6\text{F}^-$	+4	-1,191
$\text{H}_2\text{TiO}_3 + 4\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ti}^{2+} + 3\text{H}_2\text{O}$	+4	+0,362
Углерод		
$\text{CH}_3\text{CHO}_{(\text{водн})} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(\text{водн})}$	-1	+0,192
$\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{водн})} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{CHO}_{(\text{водн})} + \text{H}_2\text{O}$	0	+0,118
$\text{CO}_{(\text{r})} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{C} + \text{H}_2\text{O}$	+2	+0,517
$\text{HCOOH}_{(\text{водн})} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{C} + 2\text{H}_2\text{O}$	+2	+0,523
$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_{4(\text{водн})} + 6\text{H}^+ + 6\bar{e} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{водн})} + 2\text{H}_2\text{O}$	+3	+0,31
$(\text{CN})_{2(\text{r})} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{HCN}$	+3	+0,37
$(\text{NCS})_2 + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{NCS}^-$	+4	+0,77



ОВ полуреакции	δ	E^0 (В)
$\text{HNCO} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{HCN} + \text{H}_2\text{O}$	+4	+0,35
$2\text{HNCO} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons (\text{CN})_{2(\text{газ})} + 2\text{H}_2\text{O}$	+4	-0,33
$\text{NCO}^- + \text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{CN}^- + 2\text{OH}^-$	+4	-0,97
$\text{CO}_{2(\text{г})} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{HCOOH}_{(\text{водн})}$	+4	-0,196
$\text{CO}_{2(\text{г})} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{CO}_{(\text{г})} + \text{H}_2\text{O}$	+4	-0,104
$\text{CO}_{2(\text{г})} + 4\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{C} + 2\text{H}_2\text{O}$	+4	+0,206
$2\text{CO}_{2(\text{г})} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_{4(\text{водн})}$	+4	-0,481
$\text{H}_2\text{CO}_3 + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{HCOOH}_{(\text{водн})} + \text{H}_2\text{O}$	+4	-0,391
$\text{H}_2\text{CO}_3 + 4\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{C} + 3\text{H}_2\text{O}$	+4	+0,044
$2\text{H}_2\text{CO}_3 + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_{4(\text{водн})} + 2\text{H}_2\text{O}$	+4	-0,05
$\text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{CO} + 4\text{OH}^-$	+4	-1,223В
Фосфор		
$\text{P}_{(\text{красный})} + 3\text{H}^+ + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{PH}_{3(\text{газ})}$	0	-0,111
$\text{P}_{(\text{белый})} + 3\text{H}^+ + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{PH}_{3(\text{газ})}$	0	-0,063
$\text{P}_{(\text{белый})} + 3\text{H}_2\text{O} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{PH}_{3(\text{газ})} + 3\text{OH}^-$	0	-0,89
$\text{H}_3\text{PO}_2 + \text{H}^+ + \bar{e} \rightleftharpoons \text{P}_{(\text{красный})} + 2\text{H}_2\text{O}$	+1	-0,365
$\text{H}_3\text{PO}_2 + \text{H}^+ + \bar{e} \rightleftharpoons \text{P}_{(\text{белый})} + 2\text{H}_2\text{O}$	+1	-0,508
$\text{H}_3\text{PO}_2 + 4\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{PH}_{3(\text{газ})} + 2\text{H}_2\text{O}$	+1	-0,174
$\text{H}_2\text{PO}_2^- + \bar{e} \rightleftharpoons \text{P}_{(\text{белый})} + 2\text{OH}^-$	+1	-2,05
$\text{H}_2\text{PO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O} + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{PH}_{3(\text{г})} + 5\text{OH}^-$	+1	-1,18
$\text{H}_3\text{PO}_3 + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{PO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	+3	-0,499
$\text{H}_3\text{PO}_3 + 3\text{H}^+ + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{P}_{(\text{красный})} + 3\text{H}_2\text{O}$	+3	-0,454
$\text{H}_3\text{PO}_3 + 3\text{H}^+ + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{P}_{(\text{белый})} + 3\text{H}_2\text{O}$	+3	-0,502
$\text{H}_3\text{PO}_3 + 6\text{H}^+ + 6\bar{e} \rightleftharpoons \text{PH}_{3(\text{газ})} + 3\text{H}_2\text{O}$	+3	-0,282
$\text{HPO}_3^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{PO}_2^- + 3\text{OH}^-$	+3	-1,57
$\text{HPO}_{3(\text{водн})} + 5\text{H}^+ + 5\bar{e} \rightleftharpoons \text{P}_{(\text{белый})} + 3\text{H}_2\text{O}$	+5	-0,346
$\text{H}_3\text{PO}_4 + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{PO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	+5	-0,276



ОВ полуреакции	δ	E^0 (В)
$\text{H}_3\text{PO}_4 + 4\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{PO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	+5	-0,39
$\text{H}_3\text{PO}_4 + 5\text{H}^+ + 5\bar{e} \rightleftharpoons \text{P}_{\text{(красный)}} + 4\text{H}_2\text{O}$	+5	-0,383
$\text{H}_3\text{PO}_4 + 5\text{H}^+ + 5\bar{e} \rightleftharpoons \text{P}_{\text{(белый)}} + 4\text{H}_2\text{O}$	+5	-0,411
$\text{H}_3\text{PO}_4 + 8\text{H}^+ + 8\bar{e} \rightleftharpoons \text{PH}_3_{\text{(газ)}} + 4\text{H}_2\text{O}$	+5	-0,281
$\text{PO}_4^{3-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{HPO}_3^{2-} + 3\text{OH}^-$	+5	-1,12
Фтор		
$\text{F}_{2(\text{r})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{F}^-$	0	+2,87
$\text{F}_{2(\text{r})} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{HF}_{\text{(водн)}}$	0	+2,053
$\text{F}_{2(\text{r})} + \text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{HF}_2^-$	0	+2,979
Хлор		
$\text{Cl}_{2(\text{r})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Cl}^-$	0	+1,3583
$\text{Cl}_{2(\text{r})} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{HCl}_{\text{(газ)}}$	0	+0,987
$\text{Cl}_{2(\text{водн})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Cl}^-$	0	+1,396
$\text{HClO} + \text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$	+1	+1,5
$2\text{HClO} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cl}_{2(\text{газ})} + 2\text{H}_2\text{O}$	+1	+1,63
$\text{ClO}^- + \text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cl}^- + 2\text{OH}^-$	+1	+0,89
$2\text{ClO}^- + 2\text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cl}_{2(\text{газ})} + 4\text{OH}^-$	+1	+0,421
$\text{HClO}_2 + 3\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cl}^- + 2\text{H}_2\text{O}$	+3	+1,584
$2\text{HClO}_2 + 6\text{H}^+ + 6\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cl}_{2(\text{газ})} + 4\text{H}_2\text{O}$	+3	+1,639
$\text{ClO}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{ClO}^- + 2\text{OH}^-$	+3	+0,681
$\text{ClO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cl}^- + 4\text{OH}^-$	+3	+0,77
$\text{ClO}_{2(\text{r})} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{ClO}_2^-$	+4	+1,071
$\text{ClO}_{2(\text{r})} + \text{H}^+ + \bar{e} \rightleftharpoons \text{HClO}_2$	+4	+1,188
$\text{ClO}_{2(\text{r})} + 4\text{H}^+ + 5\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cl}^- + 2\text{H}_2\text{O}$	+4	+1,5
$\text{ClO}_{2(\text{r})} + 2\text{H}_2\text{O} + 5\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cl}^- + 4\text{OH}^-$	+4	+0,85
$\text{ClO}_3 + 2\text{H}^+ + \bar{e} \rightleftharpoons \text{ClO}_{2(\text{газ})} + \text{H}_2\text{O}$	+5	+1,175
$\text{ClO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{ClO}_{2(\text{газ})} + 2\text{OH}^-$	+5	-0,481



ОВ полуреакции	δ	E^0 (В)
$\text{ClO}_3^- + 2\text{H}_2\text{O} + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{ClO}^- + 4\text{OH}^-$	+5	+0,488
$\text{ClO}_3^- + 5\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{HOCl} + 2\text{H}_2\text{O}$	+5	+1,41
$\text{ClO}_3^- + 6\text{H}^+ + 6\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cl}^- + 3\text{H}_2\text{O}$	+5	+1,45
$\text{ClO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O} + 6\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cl}^- + 6\text{OH}^-$	+5	+0,622
$2\text{ClO}_3^- + 12\text{H}^+ + 10\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cl}_{2(\text{водн})} + 6\text{H}_2\text{O}$	+5	+1,463
$2\text{ClO}_3^- + 12\text{H}^+ + 10\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cl}_{2(\text{газ})} + 6\text{H}_2\text{O}$	+5	+1,468
$\text{ClO}_4^- + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{ClO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$	+7	+1,201
$\text{ClO}_4^- + \text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{ClO}_3^- + 2\text{OH}^-$	+7	+0,374
$\text{ClO}_4^- + 8\text{H}^+ + 8\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cl}^- + 4\text{H}_2\text{O}$	+7	+1,388
$\text{ClO}_4^- + 4\text{H}_2\text{O} + 8\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cl}^- + 8\text{OH}^-$	+7	+0,56
$2\text{ClO}_4^- + 16\text{H}^+ + 14\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cl}_{2(\text{газ})} + 8\text{H}_2\text{O}$	+7	+1,392
$2\text{ClO}_4^- + 16\text{H}^+ + 14\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cl}_{2(\text{водн})} + 8\text{H}_2\text{O}$	+7	+1,385
Хром		
$\text{Cr}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cr}$	+2	-0,9
$\text{Cr}(\text{OH})_{2(\text{тв})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cr} + 2\text{OH}^-$	+2	-1,41
$\text{Cr}^{3+} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Cr}^{2+}$	+3	-0,424
$\text{Cr}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cr}$	+3	-0,744
$\text{Cr}(\text{OH})_{3(\text{водн})} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cr} + 3\text{OH}^-$	+3	-1,34
$\text{Cr}(\text{OH})_{3(\text{тв})} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cr} + 3\text{OH}^-$	+3	-1,48
$\text{CrO}_4^{2-} + 4\text{H}_2\text{O} + 3\bar{e} \rightleftharpoons [\text{Cr}(\text{OH})_4]^- + 4\text{OH}^-$	+6	-0,24
$\text{CrO}_4^{2-} + 4\text{H}_2\text{O} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cr}(\text{OH})_{3(\text{тв})} + 5\text{OH}^-$	+6	-0,11
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$	+6	+1,380
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 12\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Cr} + 7\text{H}_2\text{O}$	+6	+0,294
Цезий		
$\text{Cs}^+ + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Cs}$	+1	-2,923
Цинк		
$\text{Zn}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Zn}$	+2	-0,7626
$\text{Zn}(\text{OH})_{2(\text{тв})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Zn} + 2\text{OH}^-$	+2	-1,246

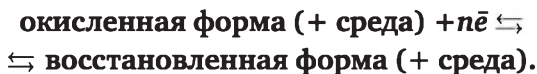


ОВ полуреакции	δ	E^0 (В)
$[\text{Zn}(\text{OH})_3]^- + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Zn} + 3\text{OH}^-$	+2	-1,2
$[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Zn} + 4\text{OH}^-$	+2	-1,285
$[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Zn} + 4\text{NH}_3$	+2	-1,04
$[\text{Zn}(\text{CN})_4]^{2-} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Zn} + 4\text{CN}^-$	+2	-1,34
$\text{ZnCO}_{3(\text{тв})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Zn} + \text{CO}_3^{2-}$	+2	-1,06
$\text{ZnS}_{(\text{вюрцит})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Zn} + \text{S}^{2-}$	+2	-1,44
Цирконий		
$\text{Zr}^{4+} + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Zr}$	+4	-1,55
$\text{ZrO}_2 + 4\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Zr} + 2\text{H}_2\text{O}$	+4	-1,45
$\text{ZrO}^{2+} + 2\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Zr} + \text{H}_2\text{O}$	+4	-1,57



Стандартные окислительно-восстановительные потенциалы в водных растворах в порядке увеличения потенциалов

Процесс восстановления окисленной формы (атома, молекулы, иона) описывается уравнением:



Данное равновесие характеризуется значением стандартного окислительно-восстановительного потенциала E^0 (В), измеренного в водных растворах с концентрацией 1 моль/л при температуре $t = 25^\circ\text{C}$ относительно стандартного водородного электрода ($p\text{H} = 0$, $p = 1$ атм).

Таблица составлена в порядке увеличения стандартных окислительно-восстановительных потенциалов и является модифицированной частью более общей таблицы, в которой потенциалы приведены по названиям элементов, расположенным в соответствии с русским алфавитом. Данный вариант более удобен при решении задач сравнения силы нескольких окислителей или восстановителей, а также подбора восстановителя для выбранного окислителя и, наоборот, окислителя для выбранного восстановителя.

Таблица П7

**Стандартные окислительно-восстановительные потенциалы в водных растворах
при $t = 25^\circ\text{C}$**

ОВ полуреакции	E^0 (В)
$\text{N}_2 + 4\text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{NH}_2\text{OH} + 2\text{OH}^-$	-3,04
$[\text{Al}(\text{OH})_4]^- + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Al} + 4\text{OH}^-$	-2,35
$\text{H}_2 + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{H}^-$	-2,25
$\text{H}^+ + \bar{e} \rightleftharpoons \text{H}$	-2,1065



ОВ полуреакции	E^0 (В)
$\text{H}_2\text{PO}_2^- + \bar{e} \rightleftharpoons \text{P}_{\text{белый}} + 2\text{OH}^-$	-2,05
$\text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{NH}_3\text{OH}^+$	-1,87
$\text{SiO}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O} + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Si} + 6\text{OH}^-$	-1,69
$\text{HPO}_3^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{PO}_2^- + 3\text{OH}^-$	-1,57
$[\text{SiF}_6]^{2-} + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Si} + 6\text{F}^-$	-1,37
$[\text{Zn}(\text{CN})_4]^{2-} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Zn} + 4\text{CN}^-$	-1,34
$[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Zn} + 4\text{OH}^-$	-1,285
$\text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO} + 4\text{OH}^-$	-1,223
$\text{H}_2\text{PO}_2^- + 3\text{H}_2\text{O} + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{PH}_3 + 5\text{OH}^-$	-1,18
$\text{N}_2 + 4\text{H}_2\text{O} + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{N}_2\text{H}_4 + 4\text{OH}^-$	-1,16
$[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Zn} + 4\text{NH}_3$	-1,04
$\text{NCO}^- + \text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{CN}^- + 2\text{OH}^-$	-0,970
$[\text{Sn}(\text{OH})_6]^{2-} + 2\bar{e} \rightleftharpoons [\text{Sn}(\text{OH})_3]^- + 3\text{OH}^-$	-0,93
$[\text{Sn}(\text{OH})_3]^- + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Sn} + 3\text{OH}^-$	-0,91
$\text{P}_{\text{белый}} + 3\text{H}_2\text{O} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{PH}_3 + 3\text{OH}^-$	-0,89
$2\text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	-0,828
$\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + 6\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{NH}_3 + 6\text{OH}^-$	-0,74
$\text{AsO}_4^{3-} + 4\text{H}_2\text{O} + 5\bar{e} \rightleftharpoons \text{As} + 8\text{OH}^-$	-0,68
$[\text{Cd}(\text{OH})_4]^{2-} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cd} + 4\text{OH}^-$	-0,670
$[\text{Au}(\text{CN})_2]^- + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Au} + 2\text{CN}^-$	-0,61
$\text{Fe}(\text{OH})_3 + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{OH}^-$	-0,56
$\text{H}_3\text{PO}_3 + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{PO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	-0,499
$\text{S}_2^{2-} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{S}^{2-}$	-0,483
$2\text{CO}_2 + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_{4(\text{водн})}$	-0,481
$[\text{Cu}(\text{CN})_2]^- + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Cu} + 2\text{CN}^-$	-0,44
$[\text{Sb}(\text{OH})_6]^- + 2\bar{e} \rightleftharpoons [\text{Sb}(\text{OH})_4]^- + 2\text{OH}^-$	-0,43
$\text{Cr}^{3+} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Cr}^{2+}$	-0,424



ОВ полуреакции	E^0 (В)
$\text{H}_3\text{PO}_4 + 5\text{H}^+ + 5\bar{e} \rightleftharpoons \text{P}_{\text{белый}} + 4\text{H}_2\text{O}$	-0,411
$\text{H}_3\text{PO}_4 + 4\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{PO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	-0,39
$\text{H}_3\text{PO}_4 + 5\text{H}^+ + 5\bar{e} \rightleftharpoons \text{P}_{\text{красный}} + 4\text{H}_2\text{O}$	-0,383
$\text{H}_2\text{GeO}_3 + 4\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ge}^{2+} + 3\text{H}_2\text{O}$	-0,363
$[\text{Ag}(\text{CN})_2]^- + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Ag} + 2\text{CN}^-$	-0,31
$\text{H}_3\text{PO}_3 + 6\text{H}^+ + 6\bar{e} \rightleftharpoons \text{PH}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$	-0,282
$\text{H}_3\text{PO}_4 + 8\text{H}^+ + 8\bar{e} \rightleftharpoons \text{PH}_3 + 4\text{H}_2\text{O}$	-0,281
$\text{H}_3\text{PO}_4 + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{PO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	-0,276
$\text{N}_2 + 5\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{N}_2\text{H}_5^+$	-0,23
$\text{H}_3\text{PO}_2 + 4\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{PH}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$	-0,174
$\text{NO}_2^- + 6\text{H}_2\text{O} + 6\bar{e} \rightleftharpoons \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + 7\text{OH}^-$	-0,15
$\text{CrO}_4^{2-} + 4\text{H}_2\text{O} + 3\bar{e} \rightleftharpoons [\text{Cr}(\text{OH})_4]^- + 4\text{OH}^-$	-0,13
$\text{H}_2\text{GeO}_3 + 4\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ge} + 3\text{H}_2\text{O}$	-0,13
$\text{NO}_3^- + 7\text{H}_2\text{O} + 8\bar{e} \rightleftharpoons \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + 9\text{OH}^-$	-0,12
$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]^+ + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Cu} + 2\text{NH}_3$	-0,100
$2\text{Cu}(\text{OH})_2 + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cu}_2\text{O} + 2\text{OH}^- + \text{H}_2\text{O}$	-0,08
$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{HO}_2^- + 2\text{OH}^-$	-0,076
$2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{H}_2$	0,0000
$\text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{NO}_2^- + 2\text{OH}^-$	+0,01
$\text{S}_4\text{O}_6^{2-} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$	+0,080
$\text{N}_2\text{H}_4 + 4\text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + 2\text{OH}^-$	+0,10
$\text{Mn}(\text{OH})_3 + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Mn}(\text{OH})_2 + \text{OH}^-$	+0,1
$\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{SO}_{2(\text{газ})} + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,138
$\text{S} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{S}_{(\text{водн})}$	+0,144
$\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	+0,158
$\text{Cu}^{2+} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Cu}^+$	+0,159
$\text{Co}(\text{OH})_3 + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Co}(\text{OH})_2 + \text{OH}^-$	+0,17



ОВ полуреакции	E^0 (В)
$S + 2H^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons H_2S_{(газ)}$	+0,174
$Sn^{4+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons Sn^{2+}$	+0,15
$PbO_2 + 2H_2O + 2\bar{e} \rightleftharpoons [Pb(OH)_4]^{2-}$	+0,208
$N_2 + 8H^+ + 6\bar{e} \rightleftharpoons 2NH_4^+$	+0,275
$SO_4^{2-} + 10H^+ + 8\bar{e} \rightleftharpoons H_2S_{(газ)} + 4H_2O$	+0,311
$SO_4^{2-} + 8H^+ + 6\bar{e} \rightleftharpoons S + 4H_2O$	+0,357
$[Fe(CN)_6]^{3-} + \bar{e} \rightleftharpoons [Fe(CN)_6]^{4-}$	+0,361
$(CN)_2 + 2H^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2HCN$	+0,37
$[Ag(NH_3)_2]^+ + 2H_2O + \bar{e} \rightleftharpoons Ag + 2NH_3 \cdot H_2O$	+0,373
$O_2 + 2H_2O + 4\bar{e} \rightleftharpoons 4OH^-$	+0,401
$2ClO^- + 2H_2O + 2\bar{e} \rightleftharpoons Cl_{2(газ)} + 4OH^-$	+0,421
$NO_2^- + H_2O + \bar{e} \rightleftharpoons NO + 2OH^-$	+0,46
$Ni(OH)_3 + \bar{e} \rightleftharpoons Ni(OH)_2 + OH^-$	+0,48
$H_2SO_3 + 4H^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons S + 3H_2O$	+0,500
$Cu^+ + \bar{e} \rightleftharpoons Cu$	+0,520
$I_{2(газ)} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2I^-$	+0,536
$MnO_4^- + \bar{e} \rightleftharpoons MnO_4^{2-}$	+0,558
$H_3AsO_4 + 2H^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons H_3AsO_3 + H_2O$	+0,559
$MnO_4^- + 2H_2O + 3\bar{e} \rightleftharpoons MnO_2 + 4OH^-$	+0,60
$MnO_4^{2-} + 2H_2O + 2\bar{e} \rightleftharpoons MnO_2 + 4OH^-$	+0,62
$O_2 + 2H^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons H_2O_2$	+0,682
$FeO_4^{2-} + 4H_2O + 3\bar{e} \rightleftharpoons Fe(OH)_3 + 5OH^-$	+0,72
$[SbCl_6]^- + 2\bar{e} \rightleftharpoons [SbCl_4]^- + 2Cl^-$	+0,746
$HNO_2 + 6H^+ + 6\bar{e} \rightleftharpoons NH_{3(газ)} + 2H_2O$	+0,755
$(SCN)_2 + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2SCN^-$	+0,77
$Fe^{3+} + \bar{e} \rightleftharpoons Fe^{2+}$	+0,771
$(Hg_2)^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2Hg$	+0,796



ОВ полуреакции	E^0 (В)
$\text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + \bar{e} \rightleftharpoons \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	+0,80
$\text{HO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 3\text{OH}^-$	+0,867
$\text{NO}_3^- + 10\text{H}^+ + 8\bar{e} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + 3\text{H}_2\text{O}$	+0,87
$\text{ClO}^- + \text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cl}^- + 2\text{OH}^-$	+0,89
$2\text{Hg}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons (\text{Hg}_2)^{2+}$	+0,911
$\text{NO}_3^- + 3\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{HNO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	+0,94
$\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,96
$\text{HNO}_2 + \text{H}^+ + \bar{e} \rightleftharpoons \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$	+0,98
$\text{Br}_{2(\text{жидк})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Br}^-$	+1,0652
$\text{Br}_{2(\text{водн})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Br}^-$	+1,087
$2\text{NO}_3^- + 10\text{H}^+ + 8\bar{e} \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O} + 5\text{H}_2\text{O}$	+1,116
$2\text{IO}_3^- + 12\text{H}^+ + 10\bar{e} \rightleftharpoons \text{I}_{2(\text{тв})} + 6\text{H}_2\text{O}$	+1,195
$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$	+1,229
$\text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,23
$\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{OH}^- + \text{O}_2$	+1,246
$2\text{NO}_3^- + 12\text{H}^+ + 10\bar{e} \rightleftharpoons \text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	+1,246
$\text{N}_2\text{H}_5^+ + 3\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{NH}_4^+$	+1,28
$\text{NH}_3\text{OH}^+ + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{O}$	+1,35
$\text{Cl}_{2(\text{газ})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Cl}^-$	+1,3583
$\text{Au}^{3+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Au}^+$	+1,36
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$	+1,380
$\text{Cl}_{2(\text{водн})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Cl}^-$	+1,396
$2\text{ClO}_3^- + 12\text{H}^+ + 10\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cl}_{2(\text{водн})} + 6\text{H}_2\text{O}$	+1,463
$\text{PbO}_2 + 4\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,468
$2\text{BrO}_3^- + 12\text{H}^+ + 10\bar{e} \rightleftharpoons \text{Br}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	+1,478
$\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5\bar{e} \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	+1,51
$\text{O} + \text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{OH}^-$	+1,602



ОВ полуреакции	E^0 (В)
$\text{PbO}_2 + \text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,698
$\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$	+1,77
$\text{Ag}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ag}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$	+1,772
$\text{NaBiO}_3 + 4\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{BiO}^+ + 2\text{H}_2\text{O} + \text{Na}^+$	> +1,8
$\text{Au}^+ + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Au}$	+1,83
$\text{Mn}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+ + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+} + 3\text{H}_2\text{O}$	+1,84
$\text{FeO}_4^{2-} + 8\text{H}^+ + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+} + 4\text{H}_2\text{O}$	+1,9
$\text{Co}^{3+} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Co}^{2+}$	+1,95
$\text{HN}_3 + 3\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{N}_2$	+1,96
$\text{Ag}^{2+} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Ag}^+$	+1,98
$\text{S}_2\text{O}_8^{2-} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{SO}_4^{2-}$	+2,010
$\text{S}_2\text{O}_8^{2-} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{HSO}_4^-$	+2,08
$\text{MnO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	+2,27
$\text{F}_{2(\text{газ})} + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{F}^-$	+2,87



**Стандартные окислительно-восстановительные
потенциалы металлов в водных растворах
при pH = 0 ($t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$)**

Таблица П8

ОВ полуреакции	E^0 (В)	ОВ полуреакции	E^0 (В)
$\text{Li}^+ + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Li}$	-3,04	$\text{In}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{In}$	-0,338
$\text{K}^+ + \bar{e} \rightleftharpoons \text{K}$	-2,924	$\text{Tl}^+ + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Tl}$	-0,3363
$\text{Rb}^+ + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Rb}$	-2,924	$\text{Co}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Co}$	-0,277
$\text{Cs}^+ + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Cs}$	-2,923	$\text{Ni}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ni}$	-0,257
$\text{Ba}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ba}$	-2,91	$\text{Mo}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Mo}$	-0,13
$\text{Sr}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Sr}$	-2,89	$\text{Re}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Re}$	-0,18
$\text{Ca}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ca}$	-2,84	$\text{Sn}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Sn}$	-0,14
$\text{Na}^+ + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Na}$	-2,713	$\text{Pb}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Pb}$	-0,1251
$\text{Ln}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ln}$	-2,522 ÷ -2,255	$\text{Fe}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Fe}$	-0,037
$\text{Mg}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Mg}$	-2,356	$2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{H}_2$	0,0000
$\text{Y}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Y}$	-2,372	$\text{Sb}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Sb}$	+0,221
$\text{Sc}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Sc}$	-2,03	$\text{Ge}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ge}$	+0,247
$\text{Be}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Be}$	-1,97	$\text{Bi}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Bi}$	+0,317
$\text{Hf}^{4+} + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Hf}$	-1,70	$\text{Cu}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cu}$	+0,34
$\text{Al}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Al}$	-1,66	$\text{Ru}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ru}$	+0,38
$\text{Zr}^{4+} + 4\bar{e} \rightleftharpoons \text{Zr}$	-1,55	$\text{Tc}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Tc}$	+0,4
$\text{Ti}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ti}$	-1,209	$\text{Tl}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Tl}$	+0,72
$\text{Mn}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Mn}$	-1,18	$\text{Rh}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Rh}$	+0,76
$\text{Nb}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Nb}$	-1,1	$\text{Ag}^+ + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Ag}$	+0,7991



ОВ полуреакции	E^0 (В)	ОВ полуреакции	E^0 (В)
$\text{Cr}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cr}$	-0,9	$\text{Os}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Os}$	+0,85
$\text{V}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{V}$	-0,87	$\text{Hg}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Hg}$	+0,8534
$\text{Zn}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Zn}$	-0,7626	$\text{Pd}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Pd}$	+0,915
$\text{Cr}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cr}$	-0,744	$\text{Ir}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ir}$	+1,156
$\text{Ga}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Ga}$	-0,529	$\text{Pt}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Pt}$	+1,188
$\text{Fe}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Fe}$	-0,473	$\text{Au}^{3+} + 3\bar{e} \rightleftharpoons \text{Au}$	+1,52
$\text{Cd}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cd}$	-0,403	—	—



СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ардашникова, Е. И. Неорганическая химия. Практикум / Е. И. Ардашникова, Е. Д. Демидова, В. А. Алёшин, А. В. Шевельков. — Москва : Лаборатория знаний, 2021. — 473 с.

2. Ахметов, Н. С. Лабораторные и семинарские занятия по неорганической химии : учебное пособие для химико-технологических вузов / Н. С. Ахметов, М. К. Азизова, Л. И. Бадыгина ; под ред. Н. С. Ахметова. — Санкт-Петербург : Лань, 2014. — 368 с.

3. Кларин, М. В. Инновационные модели обучения: Исследование мирового опыта : монография / М. В. Кларин. — Москва : Луч, 2016. — 640 с.

4. Лидин, Р. А. Справочник по неорганической химии. Константы неорганических веществ / Р. А. Лидин, Л. Л. Андреева, В. А. Молочко. — Москва : Дрофа, 2008. — 685 с.

5. Стась, Н. Ф. Справочник по общей и неорганической химии : учебное пособие для прикладного бакалавриата / Н. Ф. Стась. — 4-е изд. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 92 с.

6. Татур, Ю. Г. Как повысить объективность измерения и оценки результатов образования / Ю. Г. Татур // Высшее образование в России. — 2010. — №5. — С. 22—31.

7. Третьяков, Ю. Д. Неорганическая химия. Химия элементов. В 2 томах. Т. 1 : учебник / Ю. Д. Третьяков, Л. И. Мартыненко, А. Н. Григорьев, А. Ю. Цивадзе. — 2-е изд, перераб. и доп. — Москва : Изд-во МГУ ; ИКЦ «Академкнига», 2007. — 537 с.

8. Третьяков, Ю. Д. Неорганическая химия. Химия элементов. В 2 томах. Т. 2 : учебник / Ю. Д. Третьяков, Л. И. Мартыненко, А. Н. Григорьев, А. Ю. Цивадзе. — 2-е изд, перераб. и доп. — Москва : Изд-во МГУ ; ИКЦ «Академкнига», 2007. — 670 с.

9. Турова, Н. Я. Неорганическая химия в таблицах. — Москва : Высший химический колледж Российской академии наук, 1999. — 140 с.

10. Турьян, Я. И. Окислительно-восстановительные реакции и потенциалы в аналитической химии / Я. И. Турьян. — Москва : Химия, 1989. — 248 с.

11. Шрайвер, Д. Неорганическая химия. В 2 т. Т. 2 / Д. Шрайвер, П. Эткинс. — Москва : Мир, 2004. — 246 с.

12. Atkins, P. W. Physical Chemistry / P.W. Atkins. — Fourth Edition. — Oxford : University Press, 1990.



Наши книги можно приобрести:

Учебным заведениям и библиотекам:
в отделе по работе с вузами
тел.: (495) 744-00-12, e-mail: vuz@urait.ru

Частным лицам:
список магазинов смотрите на сайте urait.ru
в разделе «Частным лицам»

Магазинам и корпоративным клиентам:
в отделе продаж
тел.: (495) 744-00-12, e-mail: sales@urait.ru
Отзывы об издании присылайте в редакцию
e-mail: gred@urait.ru

**Новые издания и дополнительные материалы доступны
на образовательной платформе «Юрайт» urait.ru,
а также в мобильном приложении «Юрайт.Библиотека»**

Учебное издание

**Кузнецова Ирина Владимировна,
Григорьев Андрей Николаевич**

ТЕХНИКА ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА В ХИМИИ

Учебное пособие для вузов

Формат 60×90 1/16.
Гарнитура «Charter». Печать цифровая.
Усл. печ. л. 15,25

ООО «Издательство Юрайт»
111123, г. Москва, ул. Плеханова, д. 4а.
Тел.: (495) 744-00-12. E-mail: izdat@urait.ru, www.urait.ru

